

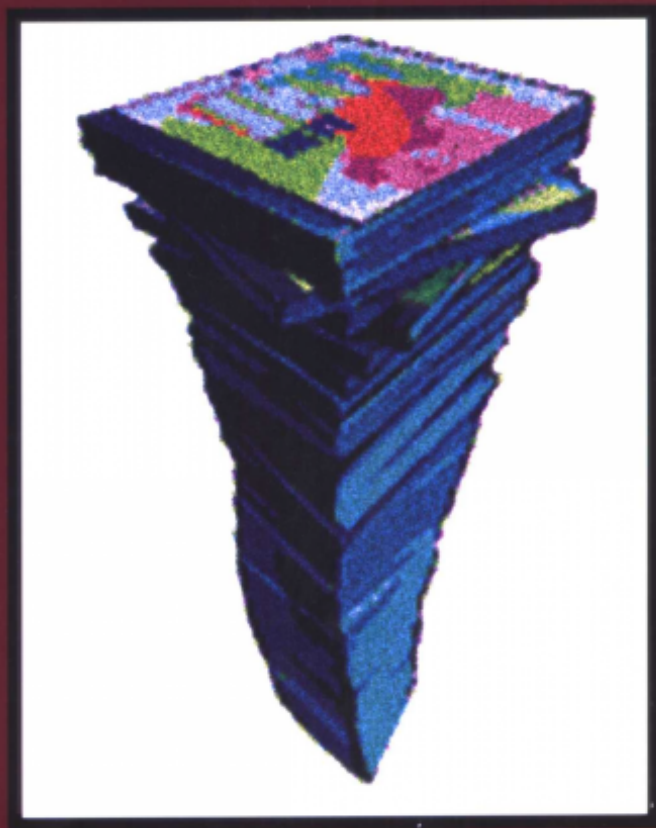
数字化音乐教育系列丛书

自己动手做声音

——声音合成与制作基础

程伊兵著

DIGITAL
Series



中央音乐学院出版社

责任编辑：赵易山

封面设计：丛 梅

ISBN 7-81096-053-9



9 787810 960533 >

ISBN 7-81096-053-9
定价：36元

数字化音乐教育系列丛书

自己动手做声音

——声音合成与制作基础

程伊兵著

中央音乐学院出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

自己动手做声音——声音合成与制作基础/程伊兵著. —北京:中央音乐学院出版社,2004. 8
(数字化音乐教育系统丛书)

ISBN 7-81096-053-9

I. 自… II. 程… III. 音乐—声音合成—应用软件—基本知识 IV. J614.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 078504 号

自己动手做声音——声音合成与制作基础

程伊兵 著

出版发行:中央音乐学院出版社

经 销:新华书店

开 本:787×1092 毫米 1/16 开 印张:21.75 字数:543 千字

印 刷:北京市白帆印务有限公司

版 次:2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1-3000 册

书 号:ISBN 7-81096-053-9

定 价:36.00 元

中央音乐学院出版社 北京市西城区鲍家街 43 号 邮编:100031

发行部:010-66415712 传真:010-66415711

自序

三年前的某个下午，偶然听一个朋友介绍起一款模拟音源，当时正是采样声源来势汹汹、铺天盖地的时候，这个叫做 Nord Modular 的模拟音源却忽然牵动我的神经，让我想到，这也许能提供一个进行声音合成与制作教学的最好平台。之前，我一直在玩儿 Csound，虽然乐在其中，但我很清楚，要让大多数音乐家们以此为基础进行创作，根本就是一件不可能的任务。音乐家与现代技术之间的桥梁构建一直都没有成型，能够从声音元素的底层去寻求创作灵感的中国音乐家更是寥寥无几。当我更多了解了 Nord Modular 之后，我意识到机会来了，这很可能将是我们把声音合成技术应用于创作的一个开端，于是乎，写这本《声音合成与制作基础》的念头就此萌生。

两年多以来，因为工作和生活的种种，一直停停写写，其间蒙赵易天老友几度催促，才不至完全停笔。以前写任何文章也没有过这样的经历，自己梳理出的理性逻辑数次险些被打乱，因为激动于一些全新的声音而屡屡跑题，更在制作这些声音的同时，恍然意识到创作上的更多可能而陷入另一番追索……这样来来去去，虽然慢了进度，却收获颇丰，成为一次难得的写作之旅。

本书在声音合成方面，有比较全面和详实的理论介绍；也有从实践入手，比较清晰简练的制作方法推演；还有将声音合成手段应用于创作的种种参考意见；更有我在写作期间，听闻一些用传统音乐概念来理解计算机“音色”、“声音”的诸多谬见之后，忍不住要发、也不能不发的一些“杂音”……总之，内容还算得是丰富，就不在这里一一赘述了，希望所有读者能在这本书当中获得声音合成领域的理论构建、技术基础，同时希望大家也能和我一样，在其中获得更多超越知识范畴的概念拓展，当然，由于水平有限，本书难免有疏漏，甚至偏误，请专家、读者们批评指正，也敬请广大读者谅解。

本书还得到许多朋友的支持，特别要感谢李西安老师的指导；感谢赵易天、于波、赵易山先生的鼎力支持和中央音乐学院出版社的出版；感谢我的女友，如果没有她其间许多尖锐犀利的意见，书中诸多概念恐怕不能如此成形；希望本书的出版也是对他们一贯支持的回馈。

程俾兵

二零零四年六月

目 录

第一章 音色基础理论

第1讲 静止的音色	1
一 声谱	1
1 基频与分音	1
2 声谱——音色的相片	2
A 声谱图	3
B 声谱包络图	3
二 声谱类型	3
1 谐和声谱	3
A 正弦波	3
B 锯齿波	4
C 方波	5
D 三角波	5
2 不谐和声谱	6
A 中国磬	6
B 三角钢琴	7
C 军鼓	7
D 白噪声	7
第2讲 动态的音色(之一)	9
一 音色的声波振动模式	9
1 波形	9
2 形形色色的波形	10
A 简单波形	10
a) 锯齿波	10
b) 方波	11
c) 三角波	11
B 复杂波形	11
a) 周期性	11
b) 半周期性与非周期性	12
二 音色的力度变化	13
1 音色力度变化的多样性	13
2 随时间变化的力度对音色的影响	13
3 振幅包络——描述音色力度随时间变化模式的方法	16
第3讲 动态的音色(之二)	18
一 音色的音高变化	18
1 结构性音高变化——影响音色感知的音高变化	18
2 修饰性音高变化——对音色感知无影响的音高变化	19
A 装饰性周期音高变化	19
B 装饰性非周期音高变化	19

2 自己动手做声音——声音合成与制作基础

二 音色的声谱变化.....	19
1 随时间变化的声谱.....	19
A 声谱随时间的变化.....	19
B 记录声谱随时间的变化.....	20
2 随其它因素变化的声谱.....	21
A 随演奏音高变化.....	21
B 随演奏力度变化.....	22
3 变化中的稳定因素——共振峰.....	23

第二章 合成基础

第1讲 获得静态声谱 26

一 概念与方法.....	26
1 合成的含义.....	26
2 傅立叶理论.....	29
3 合成方法.....	30
A 音色构想与分析.....	30
B 确定算法及绘制框图.....	30
二 获得声源.....	31
1 电子振荡.....	31
A 振荡器及其图形符号表示方法.....	31
B 振荡器类型.....	32
a) 简单波形振荡器.....	32
b) 复杂波形振荡器.....	33
c) 特殊功能振荡器.....	33
C 主振荡器与属振荡器.....	34
2 数字音频.....	34
3 实时音频.....	35

第2讲 静态声谱的修饰 36

一 滤波器类型.....	36
1 频率成份的分类.....	36
A 频率段.....	36
B 频率带.....	37
2 滤波器的类型.....	38
二 滤波器的控制.....	39
1 斜率.....	39
2 O 值.....	39
三 滤波器的图形符号表示方法.....	42
四 专门化的滤波器.....	43

第3讲 获得动态声谱的内容与工具 45

一 内容.....	45
二 包络发生器.....	45
1 包络发生器的类型.....	45
A 标准包络发生器.....	45
B 参数包络发生器.....	46

C 特殊包络发生器.....	46
2 包络发生器的图形符号表示方法.....	46
三 低频振荡器.....	47
1 低频振荡器的类型.....	47
A 标准低频振荡器.....	47
B 特殊低频振荡器.....	48
2 低频振荡器的图形符号表示方法.....	48
第4讲 获得音色动态的力度及音高变化	50
一 获得动态的音色力度变化.....	50
1 随时间因素改变音色力度.....	50
2 随其它因素改变音色力度.....	51
A 演奏力度.....	51
B 演奏音高.....	52
二 获得音色动态的音高变化.....	53
1 周期性.....	53
2 非周期性.....	54
第5讲 获得音色动态的声谱内容变化	56
一 随时间因素改变声谱内容.....	56
1 随时间因素改变分音频率.....	56
2 随时间因素改变分音振幅.....	57
二 随演奏力度改变声谱内容.....	57
1 随演奏力度改变分音频率.....	57
2 随演奏力度改变分音振幅.....	59
三 随演奏音高改变声谱内容.....	59
1 随演奏音高改变分音频率.....	59
2 随演奏音高改变分音振幅.....	61
第6讲 后音色修饰	62
一 演奏控制.....	62
1 自定义演奏控制.....	62
A 颤音.....	62
B 震音.....	64
2 预置演奏控制.....	65
二 声音效果.....	66
1 信号处理.....	66
A 声谱内容.....	66
a) 参数均衡器.....	66
b) 图示均衡器.....	66
B 音色力度.....	67
a) 压限.....	67
b) 扩展.....	67
2 信号修饰.....	68
A “丑化”的修饰.....	68
a) 失真.....	68
b) 过载.....	68
B “美化”的修饰.....	69

a) 延迟.....	69
b) 合唱.....	69
c) 混响.....	69

第三章 加法合成

第1讲 加法合成理论音色 71

一 音色分析.....	71
1 音色特征描述.....	71
2 绘制算法框图.....	71
3 算法分析.....	71
二 获得静态声谱.....	72
步骤1	73
步骤2	73
步骤3	74
三 获得动态声谱.....	75
1 获得音色力度随时间变化.....	75
步骤4	75
步骤5	76
2 获得音色力度随演奏力度变化.....	77
步骤6	77
四 音色讨论建议.....	77
1 理解声谱内容与音色感知的关系.....	78
2 理解本例中控制音色力度随演奏力度变化的方法.....	78

第2讲 加法合成钟声音色 79

一 音色分析.....	79
1 音色特征描述.....	79
2 绘制算法框图.....	79
3 算法分析.....	79
二 获得静态声谱.....	80
步骤1	81
三 获得动态声谱.....	82
1 获得音色力度随时间及演奏力度变化.....	82
步骤2	82
2 获得声谱内容随时间变化.....	83
步骤3	84
步骤4	85
四 音色讨论建议.....	86
1 理解音色力度随时间的变化对音色的影响.....	86
2 理解本例中的键盘跟踪功能.....	86

第3讲 加法合成中国磬音色 88

一 音色分析.....	88
1 音色特征描述.....	88
2 绘制算法框图.....	88
3 算法分析.....	88

二	获得静态声谱.....	90
	步骤 1	90
三	获得动态声谱.....	92
	1 获得音色力度随时间及演奏力度变化.....	92
	步骤 2	92
	2 获得声谱内容随时间变化.....	93
	步骤 3	93
	步骤 4	94
四	音色讨论建议.....	96
	1 理解声谱内容随时间的变化对音色的影响.....	96
	2 理解本例中主振荡器对属振荡器的控制.....	96

第 4 讲 加法合成电钢琴音色 98

一	音色分析.....	98
	1 音色特征描述.....	99
	2 绘制算法框图.....	99
	3 算法分析.....	99
二	获得静态声谱.....	99
	步骤 1	99
三	获得动态声谱.....	101
	1 获得音色力度随时间及演奏力度变化.....	101
	步骤 2	101
	2 获得声谱内容随时间变化.....	102
	步骤 3	102
	步骤 4	103
	3 获得声谱内容随演奏音高变化.....	104
	步骤 5	105
	步骤 6	105
四	音色讨论建议.....	106
	1 理解声谱内容随音高的变化对音色的影响.....	106
	2 理解本例包络发生器中的衰减曲线.....	107

第 5 讲 加法合成风琴音色 109

一	音色分析.....	109
	1 音色特征描述.....	109
	2 绘制算法框图.....	109
	3 算法分析.....	109
二	获得静态声谱.....	110
	步骤 1	111
三	获得动态声谱.....	112
	步骤 2	112
四	后音色修饰.....	113
	步骤 3	113
五	音色讨论建议.....	114
	1 理解声谱内容对音色的影响.....	114
	2 理解本例中获得自然颤音的方法.....	115

第6讲 加法合成宇宙飞船音色 117

一	音色分析.....	117
1	音色特征描述.....	117
2	绘制算法框图.....	117
3	算法分析.....	117
二	获得静态声谱.....	118
	步骤1	119
三	获得动态声谱.....	120
1	获得音色力度随时间及演奏力度变化.....	120
	步骤2	120
2	获得声谱内容随时间变化.....	121
	步骤3	121
四	音色讨论建议.....	123
1	理解声谱内容随时间的变化对音色的影响.....	123
2	理解本例中低频振荡器的相位.....	124

第7讲 加法合成“合成领奏”音色(之一) 125

一	音色分析.....	125
1	音色特征描述.....	125
2	绘制算法框图.....	125
3	算法分析.....	125
二	获得静态声谱.....	127
	步骤1	127
三	获得动态声谱.....	128
	步骤2	128
四	后音色修饰——获得颤音并通过调制轮控制颤音深度.....	129
	步骤3	129
	步骤4	130

第8讲 加法合成“合成领奏”音色(之二) 132

一	后音色修饰.....	132
1	获得延时效果.....	132
	步骤5	132
	步骤6	133
	步骤7	135
2	获得过载效果.....	136
	步骤8	136
二	音色讨论建议.....	138
1	理解后音色修饰对音色的影响.....	138
2	理解本例中获得延时效果的方法.....	139

第四章 减法合成

第1讲 减法合成双簧管音色 142

一	音色分析.....	142
1	音色特征描述.....	142
2	绘制算法框图.....	142

3	算法分析.....	144
二	获得静态声谱.....	144
1	获得声源.....	144
	步骤 1	144
2	修饰声谱.....	146
	步骤 2	146
三	获得动态声谱.....	147
	步骤 3	147
四	后音色修饰.....	149
	步骤 4	149
	步骤 5	150
五	音色讨论建议.....	151
1	理解声谱修饰对音色的影响.....	151
2	理解本例中实现颤音延时的方法.....	152

第 2 讲 减法合成“风声”音色 154

一	音色分析.....	154
1	音色特征描述.....	154
2	绘制算法框图.....	154
3	算法分析.....	154
二	获得静态声谱.....	155
1	获得声源.....	155
	步骤 1	155
2	修饰声谱.....	156
	步骤 2	156
三	获得动态声谱.....	157
1	获得音色力度随时间及演奏力度的变化.....	157
	步骤 3	157
2	获得声谱内容随演奏音高及时间变化.....	158
	步骤 4	158
	步骤 5	160
四	音色讨论建议.....	160
1	理解滤波器对声谱修饰的作用.....	161
2	理解本例中噪声振荡器的波形.....	161

第 3 讲 减法合成电贝司音色 163

一	音色分析.....	163
1	音色特征描述.....	163
2	绘制算法框图.....	163
3	算法分析.....	163
二	获得静态声谱.....	164
1	获得声源.....	164
	步骤 1	165
2	修饰声谱.....	165
	步骤 2	165
三	获得动态声谱.....	167
1	获得音色力度随时间及演奏力度的变化.....	167
	步骤 3	167
2	获得声谱内容随时间、演奏力度及演奏音高的变化.....	168
	步骤 4	168

步骤 5	169
四 音色讨论建议.....	170
1 理解动态声谱内容对音色的影响.....	170
2 理解本例中获得分音频率随演奏力度变化的方法.....	171
第 4 讲 减法合成弦乐音色	172
一 音色分析.....	172
1 音色特征描述.....	172
2 绘制算法框图.....	172
3 算法分析.....	172
二 获得静态声谱.....	173
1 获得声源.....	174
步骤 1	174
2 修饰声谱.....	175
步骤 2	175
三 获得动态声谱.....	176
1 获得音色力度随时间及演奏力度的变化.....	176
步骤 3	176
步骤 4	177
2 获得声谱内容随演奏力度的变化.....	178
步骤 5	178
四 后音色修饰.....	179
步骤 6	179
五 音色讨论建议.....	180
1 理解动态声谱内容对音色的影响.....	180
2 理解本例中包络发生器的时间调制.....	181
第 5 讲 减法合成风琴音色	182
一 音色分析.....	182
1 音色特征描述.....	182
2 绘制算法框图.....	182
3 算法分析.....	182
二 获得静态声谱.....	183
1 获得声源.....	184
步骤 1	184
2 修饰声谱.....	185
步骤 2	185
三 获得动态声谱.....	186
1 获得音色力度随时间及演奏力度的变化.....	186
步骤 3	186
2 获得声谱内容随时间的变化.....	187
步骤 4	188
四 后音色修饰.....	189
步骤 5	189
五 音色讨论建议.....	190
1 理解动态声谱内容对音色的影响.....	190
2 理解本例中声谱振荡器的波形.....	191

第 6 讲 减法合成铜管音色 192

一	音色分析.....	192
1	音色特征描述.....	192
2	绘制算法框图.....	192
3	算法分析.....	192
二	获得静态声谱.....	194
1	获得声源.....	194
	步骤 1	194
2	修饰声谱.....	195
	步骤 2	195
三	获得动态声谱.....	196
1	获得音色力度随时间及演奏力度的变化.....	197
	步骤 3	197
2	获得动态的声谱内容变化.....	198
	步骤 4	198
3	获得音色的结构性音高变化.....	199
	步骤 5	199
四	后音色修饰.....	200
	步骤 6	200
五	音色讨论建议.....	201
1	理解结构性音高变化对音色的影响.....	202
2	理解本例滤波器 KBT 功能的作用.....	202

第 7 讲 减法合成电钢琴音色(之一) 204

一	音色分析.....	204
1	音色特征描述.....	204
2	绘制算法框图.....	204
3	算法分析.....	204
二	获得静态声谱.....	206
1	获得声源.....	206
	步骤 1	206
2	修饰声谱.....	207
	步骤 2	207
三	获得动态声谱——获得音色力度随演奏时间、力度、音高变化.....	209
	步骤 3	209
	步骤 4	211

第 8 讲 减法合成电钢琴音色(之二) 213

一	获得动态声谱——获得动态的声谱内容变化.....	213
	步骤 5	213
	步骤 6	214
	步骤 7	216
	步骤 8	217
二	后音色修饰.....	218
	步骤 9	219
三	音色讨论建议.....	220
1	理解音色力度和分音振幅随演奏力度的变化对音色的不同影响.....	220
2	理解本例中矫正电钢琴音色低音区音高误差的不同方法.....	221

第五章 频率调制

第1讲 FM合成(之一)	223
第一节 FM合成“水滴声”音色	226
一 合成方案	226
1 算法框图	226
2 算法分析	226
二 获得静态声谱	227
步骤1	227
三 获得动态声谱	228
1 获得音色力度随时间及演奏力度的变化	228
步骤2	228
2 获得动态声谱内容	229
步骤3	230
第二节 FM合成军鼓音色	231
一 合成方案	231
1 算法框图	231
2 算法分析	231
二 获得静态声谱	232
步骤1	232
三 获得动态声谱	233
1 获得音色力度随时间及演奏力度的变化	233
步骤2	233
2 获得军鼓音色中弹簧振动的声音	234
步骤3	234
第2讲 FM合成(之二)	236
第一节 FM合成铃声音色	236
一 合成方案	236
1 算法框图	236
2 算法分析	236
二 获得静态声谱	237
步骤1	237
三 获得动态声谱	238
1 获得音色力度随时间及演奏力度的变化	238
步骤2	238
2 获得声谱内容随时间的变化	240
步骤3	240
第二节 FM合成木鼓音色	241
一 合成方案	241
1 算法框图	241
2 算法分析	241
二 获得静态声谱	242

步骤 1	242
三 获得动态声谱	244
1 获得音色力度随时间及演奏力度的变化	244
步骤 2	244
2 获得声谱内容随时间的变化	245
步骤 3	245
第 3 讲 FM 合成(之三)	247
第一节 FM 合成铜管音色	247
一 合成方案	247
1 算法框图	247
2 算法分析	247
二 获得静态声谱	248
步骤 1	248
三 获得动态声谱	249
1 获得音色力度随时间及演奏力度的变化	249
步骤 2	249
2 获得声谱内容随时间的变化	251
步骤 3	251
第二节 FM 合成单簧管音色	252
一 合成方案	252
1 算法框图	252
2 算法分析	252
二 获得静态声谱	253
步骤 1	254
三 获得动态声谱	255
1 获得音色力度随时间及演奏力度的变化	255
步骤 2	255
2 获得声谱内容随时间的变化	256
步骤 3	256

第六章 其它合成方法

第 1 讲 振幅调制合成铃声音色	259
一 合成方案	261
1 算法框图	261
2 算法分析	261
二 获得静态声谱	262
步骤 1	262
三 获得动态声谱	264
步骤 2	264
第 2 讲 环形调制合成风琴音色	266
一 合成方案	268

1	算法框图.....	268
2	算法分析.....	268
二	获得静态声谱.....	269
	步骤 1	269
三	获得动态声谱.....	271
1	获得音色力度随时间及演奏力度的变化.....	271
	步骤 2	271
2	获得声谱内容随时间的变化.....	272
	步骤 3	272
四	后音色修饰.....	273
	步骤 4	273

第3讲 共振峰合成合唱音色 275

一	合成方案.....	275
1	算法框图.....	275
2	算法分析.....	275
二	获得静态声谱.....	276
1	获得声源.....	276
	步骤 1	277
2	修饰声谱.....	278
	步骤 2	278
三	获得动态声谱.....	279
1	获得音色力度随时间及演奏力度的变化.....	279
	步骤 3	279
2	获得结构性音高变化.....	280
	步骤 4	280

第4讲 声码器合成及其它 282

第一节 声码器合成“魔鬼音色” 282

一	声码器.....	282
二	声码器合成“魔鬼”音色.....	283
	步骤 1	283
	步骤 2	284

第二节 其它合成方法 286

一	波形塑型.....	286
二	颗粒合成.....	287
三	物理模型.....	288

第七章 合成方法的综合应用及其特性

第1讲 合成原理综述 289

一	合成原理总结.....	289
1	获得静态声谱.....	289
	A 获得声源.....	289
	B 修饰声谱.....	291

2 获得动态声谱.....	291
A 获得动态的音色力度变化.....	291
B 获得音色动态的音高变化.....	292
C 随时间因素改变声谱内容.....	292
D 随演奏力度和音高改变声谱内容.....	293
3 后音色修饰.....	294
A 演奏控制.....	294
B 声音效果.....	294
二 合成原理的应用.....	295
1 独立应用.....	295
A 获得静态声谱.....	295
B 获得动态声谱.....	295
2 综合应用.....	295
A 获得静态声谱.....	295
B 获得动态声谱.....	297
C 后音色修饰.....	297
第2讲 发挥音色想象力	299
一 在常规音色合成方法中发挥想象力.....	299
二 创造性的音色想象力.....	301
第3讲 音色认知讨论	303
第一节 制作使用个性化的音色.....	303
一 不同作品中个性化音色的体现.....	303
1 同类音色的个性化体现.....	303
2 相同音色的个性化体现.....	304
二 相同作品中不同阶段个性化音色的体现.....	304
1 同类音色的个性化体现.....	304
2 相同音色的个性化体现.....	304
第二节 音色认知的拓展.....	307
一 全新的演奏法.....	307
1 拓展常规乐器的演奏法.....	307
A 演奏工具和方法的拓展.....	307
B 演奏内容的拓展.....	307
2 演奏法自身定义的拓展.....	308
A 自然乐器.....	308
B 电子乐器.....	308
二 音色认知的拓展.....	309
1 音色认知上的误区.....	309
2 音色认知的拓展.....	310
第4讲 电子合成音色的审美特征	311
一 “无乐器”法则.....	311
二 电子合成音色的审美标准.....	311
结 语	312

附 录

附录一	音名、音符号与频率对照表.....	313
附录二	音色合成实践所需系统配制建议.....	314
	最简系统配制建议.....	314
	理想系统配制建议.....	315
附录三	全局操作.....	317
	GP01 调用模块.....	317
	GP02 删除模块.....	318
	GP03 连线.....	319
	GP04 去掉连线.....	319
	GP05 调整参数.....	319
	GP06 恢复参数默认值.....	320
	GP07 设置参数外部控制源.....	320
	GP08 取消参数外部控制源.....	321
	GP11 系统准备.....	321
	GP12 新建音色.....	321
	GP13 读取音色.....	322
	GP14 关闭当前音色.....	322
	GP15 关闭所有音色.....	323
	GP16 保存当前音色.....	323
	GP17 另存当前音色.....	324
附录四	词汇表.....	325

注意：请访问中音网(<http://www.centrmus.com/>)下载本书中所有例题。

第一章 音色基础理论

本书按照音色合成实践的逻辑，讲述音色基础理论中的波形、声谱、包络等概念。本书不再赘述有关声音的声学本质等内容，如果您需要了解这部分常识，或者需要深入地学习声学基础知识，请参阅其它专业书籍。

音乐中除了声音的音高、力度外，音色是另外一个重要基础要素。对音高、力度，我们已经知道可以用频率、振幅等概念来表示和度量，那么音色呢？让我们以音色合成为目的，从静止和动态两个角度探讨一下这个问题。

第 1 讲 静止的音色

所谓静止的音色是指抛开音色发声过程中，各组成因素的变化过程，或者截取变化过程中的某一瞬间，以静态的角度考察音色的方法。与其说音色是一个独立的物理现象，不如说音色是某类声音各个维度的基本物理现象整合在一起，带给听者的综合感受。除了上文中提到的频率、振幅等之外，我们经常使用声谱这个概念来描述一个静止的音色。

一、声谱

我们知道，频率带给我们音高感受，其实同时，音色与声音的基本要素——频率之间有着密切的关系。

1. 基频与分音

设想一根长 1.2 米的琴弦，当整个琴弦在振动发声时，琴弦的 $1/2$ (0.6 米)、 $1/3$ (0.4 米)、 $1/4$ (0.3 米)、 $1/5$ (0.24 米) 处也都在振动，假设这根琴弦的音高为大字二组的 A(A2)，既振动频率为 110 赫兹^①，那么上述部分的振动频率分别为 110Hz 的 2 倍(220Hz=A3)、3 倍(330Hz≈E4)、4 倍(440Hz=A4)和 5 倍(550Hz≈C#5)^②，见图 1.1.01。

如图中所示，音高为 A2 的琴弦在振动时，其整数分之一的各部分振动所形成的音高，与基弦一起构成了一个以 A 为根音的大三和弦。那么为什么我们感知这根弦的振动时，只听到 A2 这个音，而不是一个大三和弦呢？原因是基弦振动所发出的音量，大于其各部分振动的音量。

我们称基弦的振动频率为基频(Fundamental Frequency)，其它各部分的振动所产生的频率为分音(Partials)。本例中分音的频率恰好是基频的整数倍，我们称这样的分音为谐波分

① 赫兹(Hz)是计量频率的单位，有关频率及赫兹等概念请参阅有关专业书籍。

② 参见附录一：《十二平均律音名、音符号与频率对照表》

音(Harmonic Partial) 或泛音(Harmonics)。

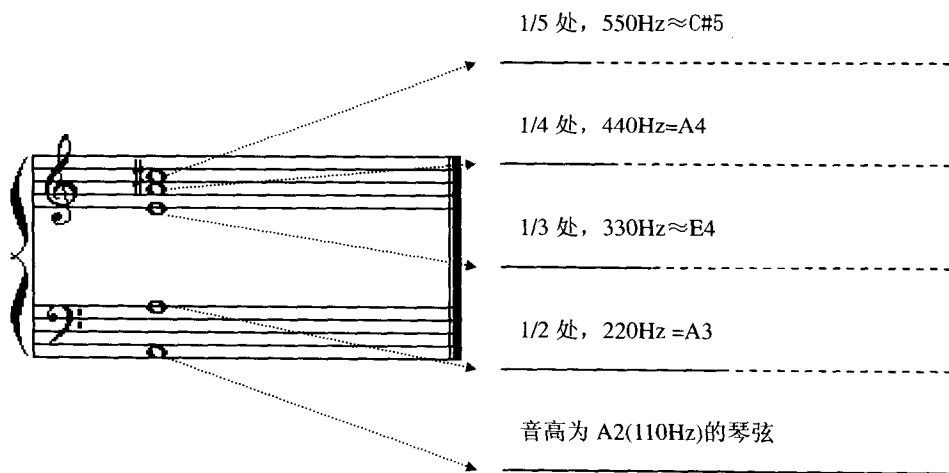


图 1.1.01 琴弦各振动部位与音高的关系

2. 声谱——音色的相片

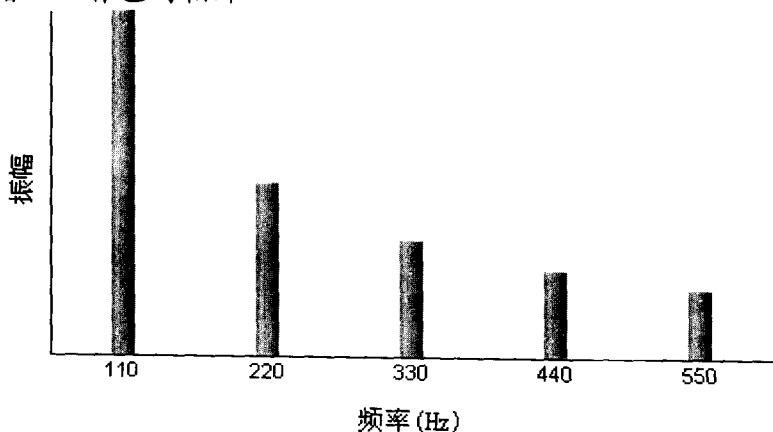


图 1.1.02 声谱示意图

自然乐器中几乎没有只包含基频的音色，上例中的琴弦，当其在振动时，很难想像琴弦的其它部分没在振动。根据傅立叶理论^①，声音的分音对其音色的感知有着至关重要的影响，体现在两个方面：其一是声音中包含哪些成份，即哪些分音在振动，其二是各分音所占的声学能量，亦即声学能量在这些分音中的分配模式。声谱^②(Spectrum)正是用来描述声音音色中上述特质的工具，本书中之所以称声谱为音色的相片，是指声谱仅仅反映了音色在某一时刻声学能量的分配，是我们以静止的角度描述声音音色的一种方法。通常，我们用声谱图和声谱包络图来描绘静止的音色。

^① 见第二章第1讲 / 概念与方法 / 傅立叶理论。

^② 声谱是声音频谱的简称。

A. 声谱图

声谱图是以频率为横坐标，代表哪些分音在振动；振幅为纵坐标，代表声学能量在分音中的分配模式的形式来描绘声音的。见图 1.1.02 声谱示意图。

图 1.1.02 所示为图 1.1.01 中琴弦振动时的声谱示意图。由图可见，该声音由基频和四个分音构成，且声学能量的分配，呈现出由低频到高频逐渐衰减的模式。

B. 声谱包络图

声谱包络图其实是另一种形式的声谱图，其横、纵坐标所代表的内容与声谱图完全一样，不同的是，声谱包络图以直线将各分音的峰值振幅连接起来，构成一条包络^①折线。见图 1.1.03 声谱包络示意图。

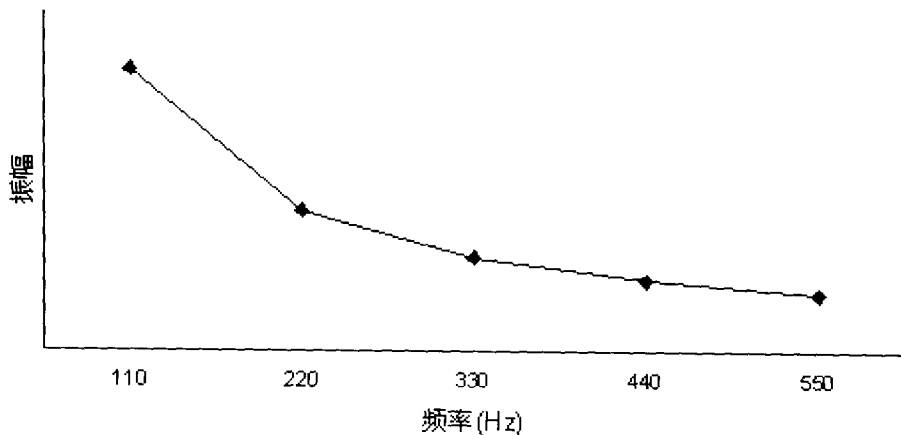


图 1.1.03 声谱包络示意图

图 1.1.03 是图 1.1.01 的声谱包络图，与图 1.1.02 声谱图比较起来，声谱包络图更容易反映声谱中能量分配的趋势，由折线下面的面积可以直观地判断出哪些频段的能量分布高，哪些频段的弱。

二、声谱类型

按照声谱中分音与基频的关系，通常将声谱分为谐和声谱与不谐和声谱。

1. 谐和声谱

声谱中分音与基频的关系为整数倍关系，既所有分音皆为泛音的声谱叫做谐和声谱。在表示谐和声谱时，通常我们使用基频的整数倍——泛音序号取代横坐标中具体的频率值。

A. 正弦波

正弦波(Sine Wave)的声音非常单纯。当频率非常高是还会觉得有些尖锐。见图 1.1.04 正弦波声谱示意图：

^① 有关包络的概念请参阅本章第 2 讲 / 音色的力度变化 / 振幅包络。

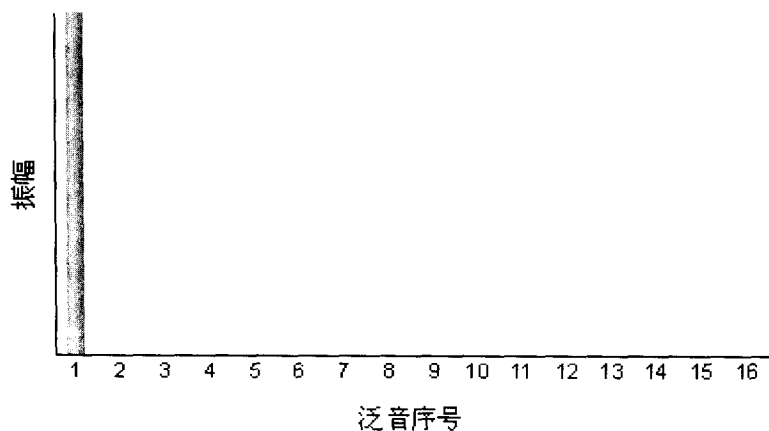


图 1.1.04 正弦波声谱示意图

如图 1.1.04 所示，正弦波声音的声谱中没有其它泛音，这正是正弦波的声音听起来比较单纯的原因。

B. 锯齿波

锯齿波(Sawtooth Wave)的声音听起来正如它的名字带给我们的连觉，声音像拉锯一样撕裂刺耳。见图 1.1.05：锯齿波声谱示意图。

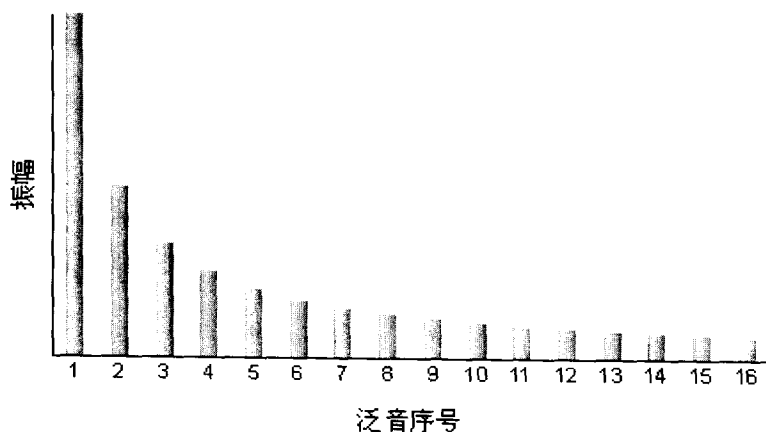


图 1.1.05 锯齿波声谱示意图

如图 1.1.05 所示，锯齿波的声谱包含丰富的泛音，诸多的泛音使锯齿波听起来极具撕裂感。声谱中各泛音的振幅呈递减的趋势，具体关系如下：第 N 个泛音的振幅等于基频的振幅除以 N ，既泛音振幅等于 N 分之一的基频振幅，锯齿波泛音振幅的公式如下：

$$A_n = \frac{A_f}{N}$$

其中， N 表示泛音序号， A_n 表示泛音振幅， A_f 表示基频振幅。如第 7 泛音的振幅为基频振

幅的 $1/7$ 。

C. 方波

方波听(Square Wave)起来与锯齿波很像, 同样有那种拉锯感, 但撕裂程度小一些, 仿佛多了一些呆板。见图 1.1.06 方波声谱示意图:

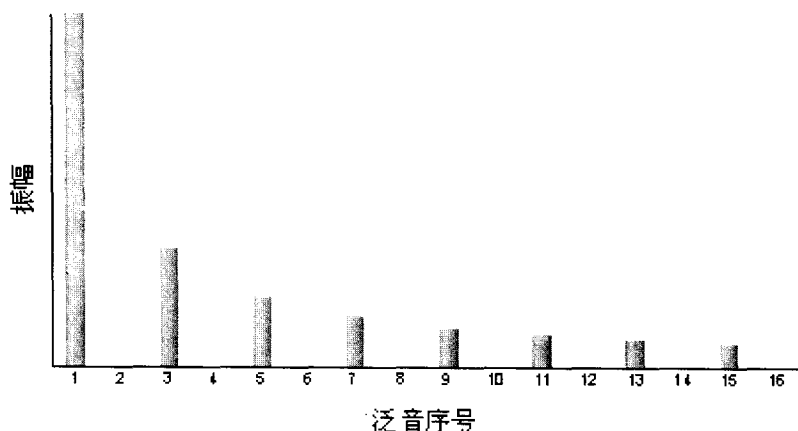


图 1.1.06 方波声谱示意图

如图 1.1.06 所示, 方波声谱中泛音振幅与基频振幅的关系, 与锯齿波中相同, 即泛音振幅等于 N 分之一的基频振幅。不同的是, 方波声谱中仅包含奇数号泛音而没有偶数号泛音。和锯齿波比较起来, 由于少了一半的泛音, 所以虽然声学能量不低, 但听起来的刺激度要低于锯齿波。

D. 三角波

三角波(Triangle Wave)的声音与前两者比较起来似乎温柔许多, 因为听起来“闷”得多。见图 1.1.07 三角波声谱示意图:

如图 1.1.07 所示, 三角波与方波一样, 只包含奇数号泛音, 其振幅呈递减的趋势。具体关系如下: 第 N 个泛音的振幅等于基频的振幅除以 N^2 , 即泛音振幅等于 N^2 分之一的基频振幅, 三角波泛音振幅的公式如下:

$$A_n = \frac{A_f}{N^2}$$

其中, N 表示泛音序号, A_n 表示泛音振幅, A_f 表示基频振幅。如第 7 泛音的振幅等于 $1/7^2=1/49$ 基频振幅。三角波的声音听起来之所以比前两者显得柔和, 从声谱上分析, 其不仅只包含一半的泛音, 且泛音所占的声学能量远小于前两种声音。以上展示的几种声音在音色合成与制作中经常会用到, 它们都是通过电子的方式人工获得的非自然声音, 但它们的声谱都是谐和声谱。

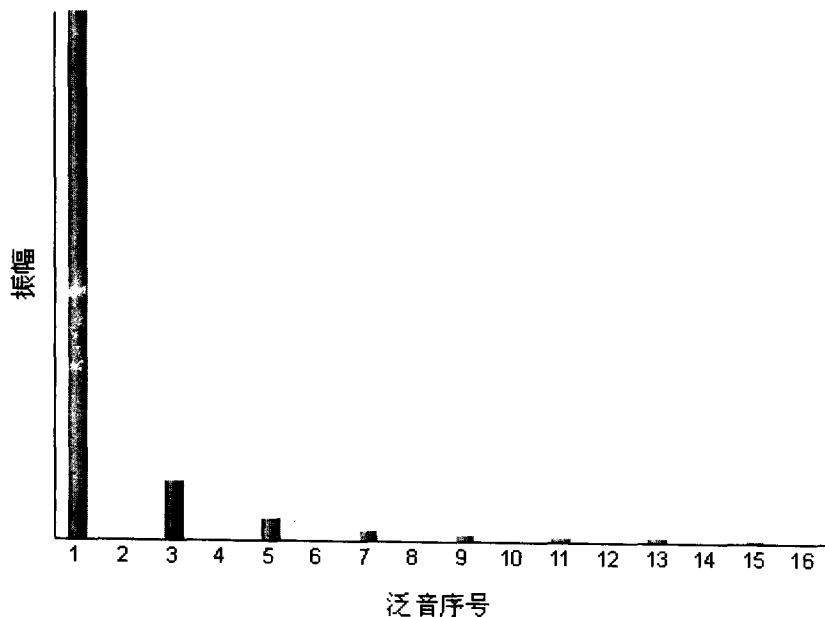


图 1.1.07 三角波声谱示意图

2. 不谐和声谱

声谱中分音与基频的关系为非整数倍关系的声谱叫做不谐和声谱。为方便起见，在声谱图中，我们使用倍数代替横坐标的具体频率值。

A. 中国磬

我们以一个采用加法合成^①方法制作的中国磬的音色为例，看一看不谐和声谱的形态，见图 1.1.08 中国磬声谱示意图：

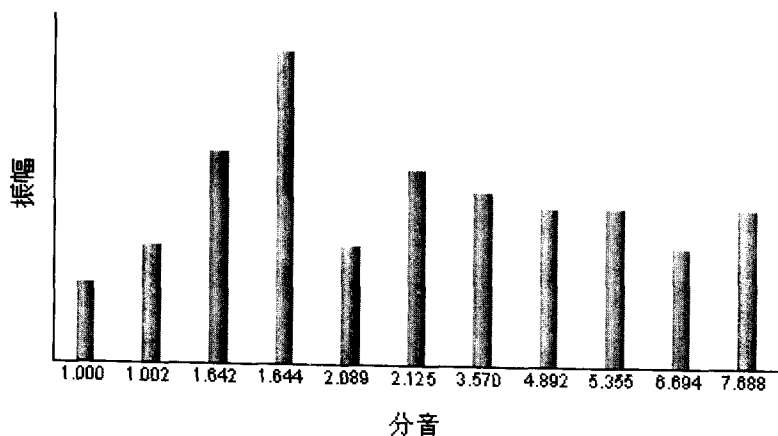


图 1.1.08 中国磬声谱示意图

① 见本书第三章第 3 讲。

如图 1.1.08 所示,该磬声在发声时,有许多分音在同时振动,且这些分音与基频的关系皆非整数倍关系。再有,与前面介绍的几种声音的声谱不同,该声谱中分音振幅与基频振幅不存在那种简单的函数关系。自然界中有许多音色呈现出类似这样的声谱特征,如钟声、铃声等。

B. 三角钢琴

三角钢琴的音色我们自然很熟悉,它的声谱也同样呈现出一定的不谐和性,见图 1.1.09 三角钢琴声谱示意图:

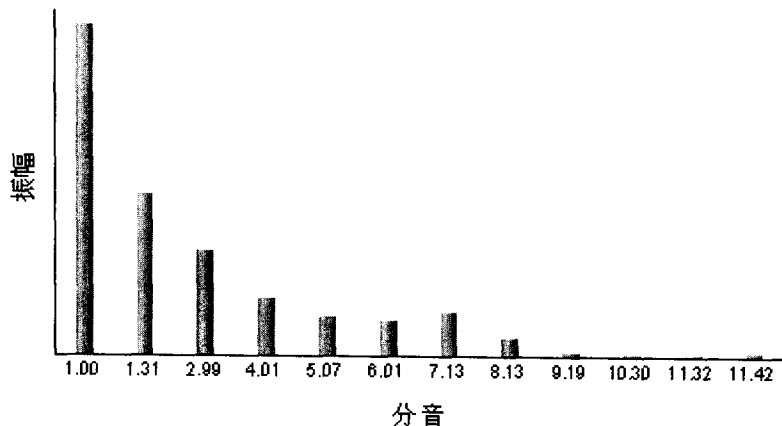


图 1.1.09 三角钢琴声谱示意图

图中所示为音高是 A5(440Hz^①)的三角钢琴音色在下键后,声音衰减前某一时刻的声谱示意图。由图可见,三角钢琴具有较丰富的频谱,且许多分音与基频的关系都不是整数倍关系。某些泛音,如四倍和六倍泛音,呈现出略微音高偏差,在本例中分别约为基频的 4.01 倍和 6.01 倍。

试验及研究表明,自然乐器中大部分音色的声谱呈现出一定的非谐和性,正因为这样,这些非整数倍频造成的拍音^②使音色显得更加生动。

C. 军鼓

音乐中我们经常使用打击乐器,这些音高感觉不是很强的乐器的声谱会是什么样呢? 见图 1.1.10,军鼓声谱包络图^③:

由图可见,军鼓的声谱中包含非常多的分音,这意味着军鼓的声音中包含许多“噪音”成份,因为过多的分音听起来缺乏音高感觉,更像“噪音”。但由于该军鼓基频附近的分音能量远大于其它部分的分音能量,因此,透过“噪音”,我们还是能够感知到一定的音高。

D. 白噪声

在自然界中很难得到白噪声(White Noise),不过我们对其并不陌生。收音机在调台的过程中经常出现的“沙沙”的噪音就与白噪声的声音很像。见图 1.1.11 白噪声声谱包络图:

① 这里的频率是该音色基频的频率值

② 有关拍音的概念请参阅相关声学书籍

③ 本书中这类声谱包络图的横纵坐标取值都是按照对数分布的。

由图可见，白噪声的声谱几乎包含所有的分音，且各分音所占的声学能量都很高。白噪声这种不谐和声谱听起来也是最不具谐和性的，是感官上称之为地地道道的噪音的一种声音。

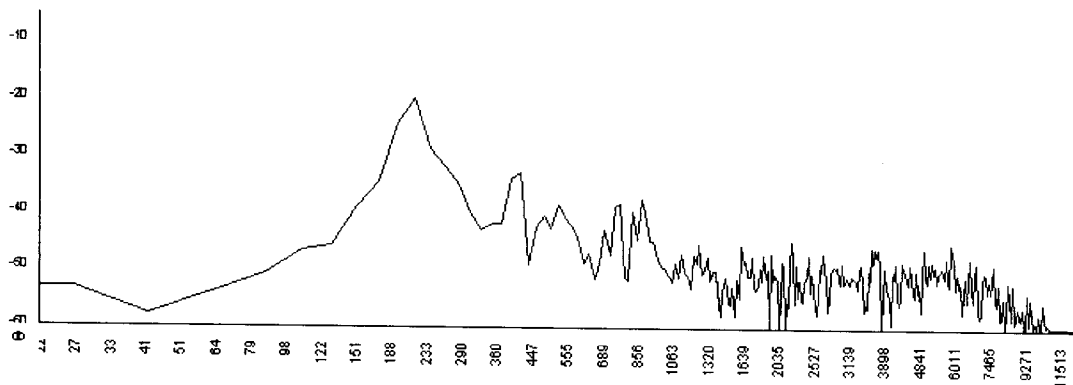


图 1.1.10 军鼓声谱包络图

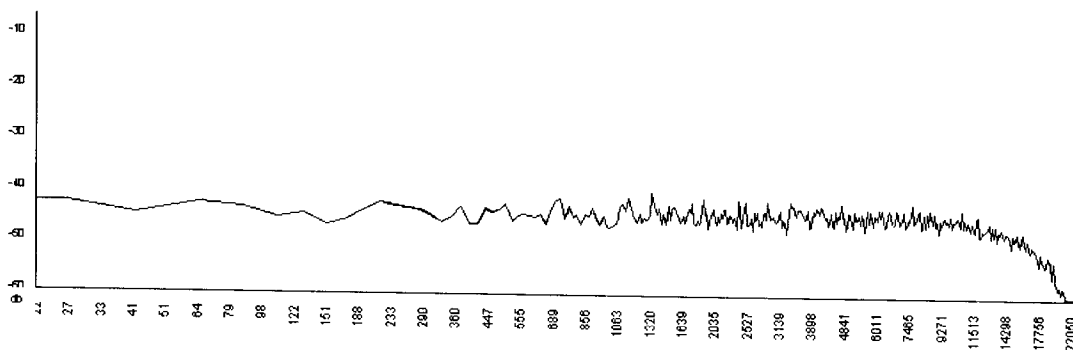


图 1.1.11 白噪声声谱包络图

有一点值得大家注意，谐和声谱与不谐和声谱，是以声谱中分音与基频的关系来定义的，不是以该声音的和谐度来定义的，因为谐和度是一个心理量。由此，呈谐和声谱的音色不见得和谐悦耳，呈不谐和声谱的音色不见得是听觉上所谓的噪音。

思考题：

- 一. 什么是声谱？
- 二. 声谱的类型都有哪些？
- 三. 请说明锯齿波、方波和三角波，分音振幅与基频振幅关系的异同。
- 四. 刺耳的音色，其声谱是不谐和声谱吗？请说明原因。

练习题：

在频谱仪中观测各种音色的声谱。

第2讲 动态的音色(之一)

通过声谱,我们可以清晰地描述音色的成份,但上讲中的声谱只能反映音色在发声过程中某一时刻的频率成份,我们知道音色绝不是静态的,在一个音色的发声过程中,随着时间的推移,其各方面因素都在变化,要完全描述一个音色,时间轴是不可或缺的。同时,音色各要素之间也存在着动态地互动关系。

本讲中我们将讨论音色的振动模式、力度随时间变化的特点,以及部分要素之间的相互影响关系,动态地、更全面地考察音色。

一、音色的声波振动模式

在音色各个维度的基本要素中,声波的振动模式是最基本的,因为假设没有振动的话,就根本没有这个声音!我们通常使用波形这个概念来描述振动模式随时间的变化。

1. 波形

声音的振动模式沿时间轴留下的运动轨迹叫做该声音的波形(Waveform)。让我们从具体事例入手,进一步理解这一晦涩的定义。

我们知道自然界中声音的本源是机械振动,无论是膜振动、弦振动还是簧片振动,其模式都非常复杂,因此让我们以自然界中比较简单的,钟摆的运动为例,理解波形的定义。

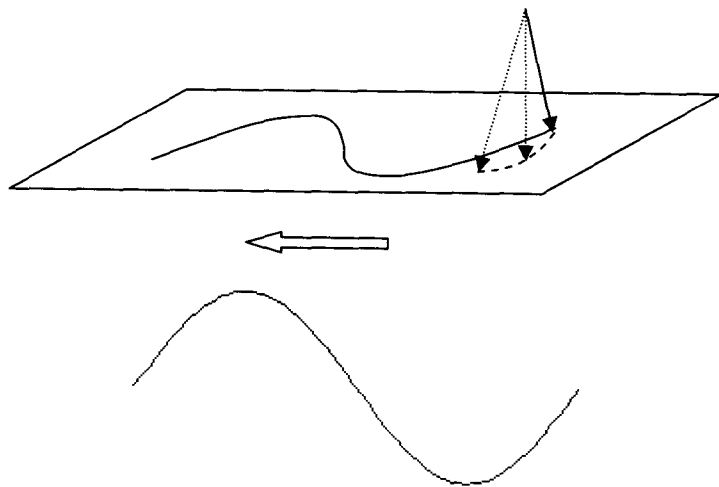


图 1.2.01 钟摆运动轨迹

当我们面对一台座钟时,其钟摆由左至右,周而复始地摆动。试想将座钟向左或向右旋转 90 度,其钟摆则至上而下地摆动。将钟摆想像成一只做钟摆运动的笔的话,假设这时在这只摆动“笔”的下方,有一张从右至左匀速运动的纸,那么,这只摆动笔将在纸上

“画”出一条曲线，见图 1.2.01 钟摆运动轨迹：

如图 1.2.01 所示，钟摆沿时间轴上的轨迹恰好是一条正弦曲线，如果某声音的振动模式(声压变化)与钟摆的位置沿时间轴上的轨迹一样，也是一条正弦曲线的话，我们将这个振动模式具有正弦曲线特性的声音称为正弦波，其振动模式沿时间轴的轨迹即为正弦波形，见图 1.2.02 正弦波形。

图中所示为单个周期的正弦波，横坐标是时间轴，纵坐标表示声压的变化。表明该声音的声压从 0 到+1 再到 0，然后到-1，最后回到 0，按照正弦曲线的特性随时间变化。

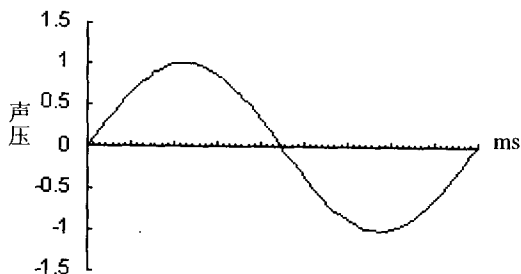


图 1.2.02 正弦波形

2. 形形色色的波形

了解了波形的定义后，我们看一看各种各样的波形图。

A. 简单波形

除了上文中介绍的正弦波之外，其它简单波形与正弦波形相似，其振动模式都可以方便地通过简单的数学函数表示出来。

a) 锯齿波

见图 1.2.03：锯齿波形

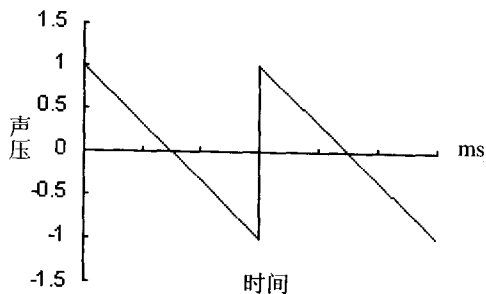


图 1.2.03 锯齿波形

图中所示为两个周期的锯齿波形。由图可见，单位周期内声压从+1 到-1 呈线性递减地变化。当然，单位周期内声压也可能从+1 到-1 递增变化。锯齿波的振动模式沿时间轴留下的轨迹呈锯齿或倒锯齿状，故名锯齿波。

b)方波

见图 1.2.04 方波波形

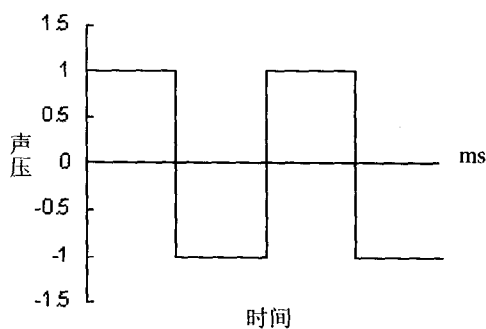


图 1.2.04 方波波形

图中所示为两个周期的方波波形。由图可见，方波的声压从+1 到-1 交替地变化。方波的振动模式沿时间轴的轨迹呈规则的矩形，故命名其为方波。

c)三角波

见图 1.2.05 三角波形

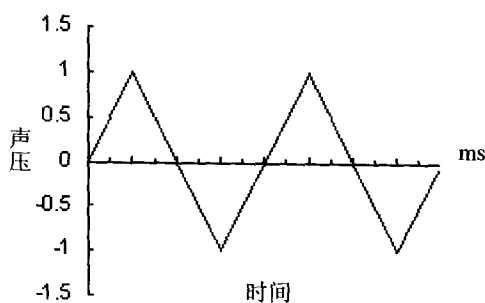


图 1.2.05 三角波形

图中所示为两个周期的三角波形。由图可见，单位周期内，三角波的声压变化从 0 到 +1 为线性递增，+1 到-1 为线性递减，-1 到 0 为线性递增。三角波的振动模式沿时间轴的轨迹呈三角形状，故命名其为三角波。

B. 复杂波形

自然界中声音的波形基本都是复杂波形，这表明其振动模式比较复杂。复杂波形的振动模式一般不能用简单的数学函数来表示。

a)周期性

让我们以上一讲中的中国磬和三角钢琴的声音波形为例，看一看复杂周期性波形的形态。见图 1.2.06 周期性复杂波形：

图 1.2.06 所示为 440Hz 两个周期的复杂波形，为便于观察，单个周期期间以虚线区分开

来。中国磬的波形看起来有点像正弦波，但其实比较纷乱，不过还是可以看出其按照周期循环的特性。三角钢琴波形的周期很容易判断，但单位周期波形比较复杂。这两者的波形都不具备简单的数学函数特性。

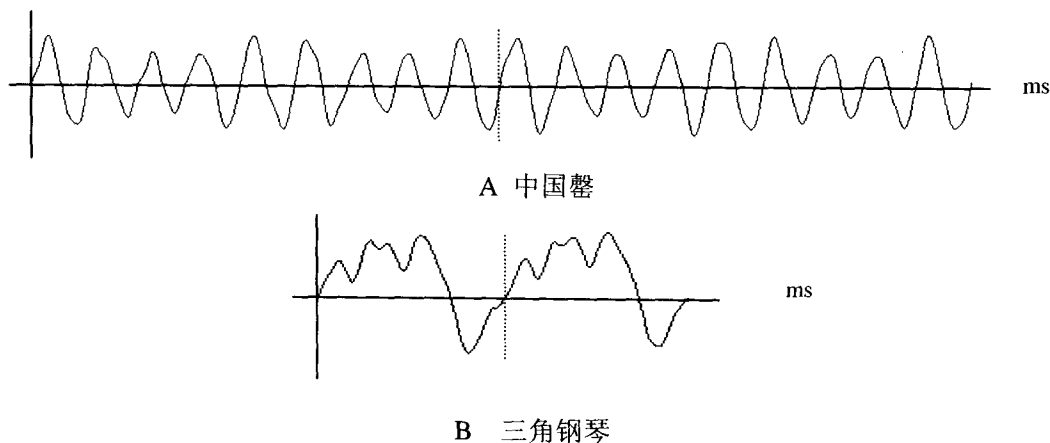


图 1.2.06 周期性复杂波形

为清晰起见，图 1.2.06 中的两个波形图分别截取自该声音触发后声音最响，图形最清晰时的波形图像。细心地读者可以观察出，这两个周期的波形不是完全一致的，这正说明音色随时间变化的特性，也就是我们动态地考察音色的目的。

b) 半周期性与非周期性

让我们通过上讲中介绍的白噪声和具有“噪音”特性的军鼓音色的波形来了解一下半周期性与非周期复杂波形。见图 1.2.07 半周期性与非周期性复杂波形：

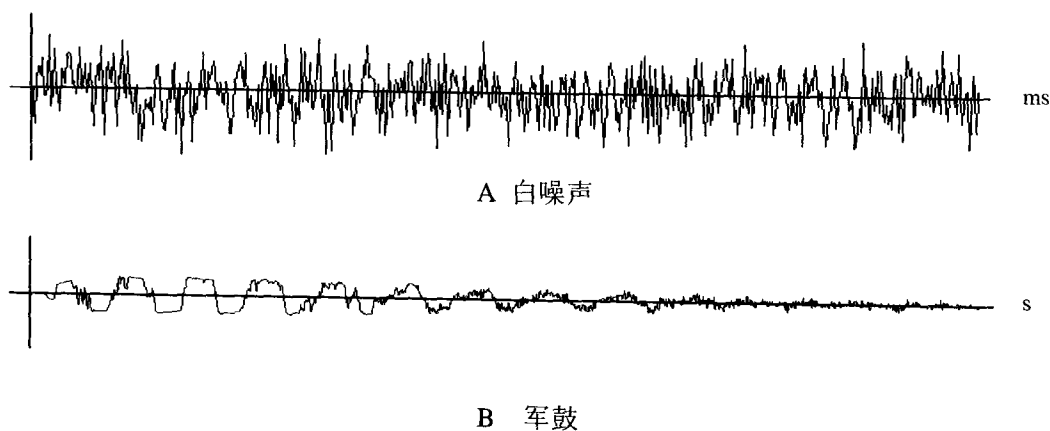


图 1.2.07 半周期性与非周期性复杂波形

由图可见,白噪声的波形非常复杂,且没有任何循环周期性,属于非周期性复杂波形。军鼓波形的后半部分声压很小,波形与白噪声的波形非常相像,不具周期性;前半部分的声压较后半部分大得多,似乎在变化中存在一定的周期性,属半周期性复杂波形。这反映军鼓的声音听起来具有一定音高感觉,但同时有很多的“噪音”感。

通过波形,我们可以获知音色声波的振动模式。有了静态的音色成份和动态的振动模式,我们基本上可以描述一个音色了。细心的读者可能会发现,在本讲的图例中,最后一个图例 1.2.07B——军鼓波形图中,横坐标的值是秒,而其它图例的都是毫秒级的单位。这表明其它波形图中只显示了该波形一个或两个周期的波形,而军鼓的波形图显示了整个军鼓从发声到结束的大部分过程。在军鼓的波形图中我们除了可以观察到振动模式外,还可以观察到军鼓音色的振幅变化,也就是随时间的力度变化。

二、音色的力度变化

实验表明,声音随时间的力度响应对音色有着重要的影响。在我们探讨这一影响之前,我们先看一看音色力度变化的多样性。

1. 音色力度变化的多样性

让我们以钢琴、弦乐、中国磬和军鼓音色为例,观察一下这些音色的力度是怎样变化的。见图 1.2.08 各种音色力度随时间的变化:

图 1.2.08 中,图左为钢琴、弦乐、中国磬及军鼓音色的完整波形,横坐标为时间轴,最大取值为 3 秒左右,纵坐标为声压变化。由波形持续的时间看,军鼓音色最短,因为军鼓音色是颗粒性的,不具备长持续能力。

图 1.2.08 中,图右所示曲线是将图左的波形声压的正峰值相连得到的曲线。横坐标代表的内容及取值与左图相同,纵坐标则表示振幅。各音色振幅随时间的变化有共同之处,那就是所有音色的振幅变化都有两个过程,一个是从最小经过一段时间达到最大,然后又逐渐衰减到最小。另外,由图中可以观察到,较之中国磬与军鼓,钢琴和弦乐音色的振幅在衰减过程之前还有一个阶段,在这个阶段中,振幅的变化不大,曲线趋于平直。

在相同的振幅变化阶段中,各音色力度随时间的变化有着显著的差异。首先是音头力度增长的差异:弦乐经过大约 1 秒才达到最大振幅;其它三种音色都远快于弦乐音色,其中中国磬和军鼓较钢琴又快一些。其次是振幅衰减阶段:军鼓以非常短的时间衰减到最小值;钢琴的衰减时间要长一些;弦乐和中国磬的衰减曲线最缓,即衰减时间最长。

2. 随时间变化的力度对音色的影响

这里,我们将通过实践,体会一下声音中随时间变化的力度对音色的影响。

让我们以正弦波为声源,分别施加以图 1.2.08 中钢琴、弦乐、中国磬和军鼓音色的力度变化曲线,见图 1.2.09 遵循力度变化曲线的正弦波。

图 1.2.09 中,图左为原始的正弦波及其所遵循的力度变化曲线,图右为正弦波按照该力度变化曲线发声的结果波形示意图。

原始波形我们已经比较熟悉,非常单纯,与我们平时听到的自然乐器声音有很大区别,很难在普通意义上说正弦波的声音是一件乐器。但在遵循了钢琴、弦乐、中国磬和军鼓的力度变化曲线后,虽然声源依旧是单调的正弦波,但音色感觉发生了质的变化。

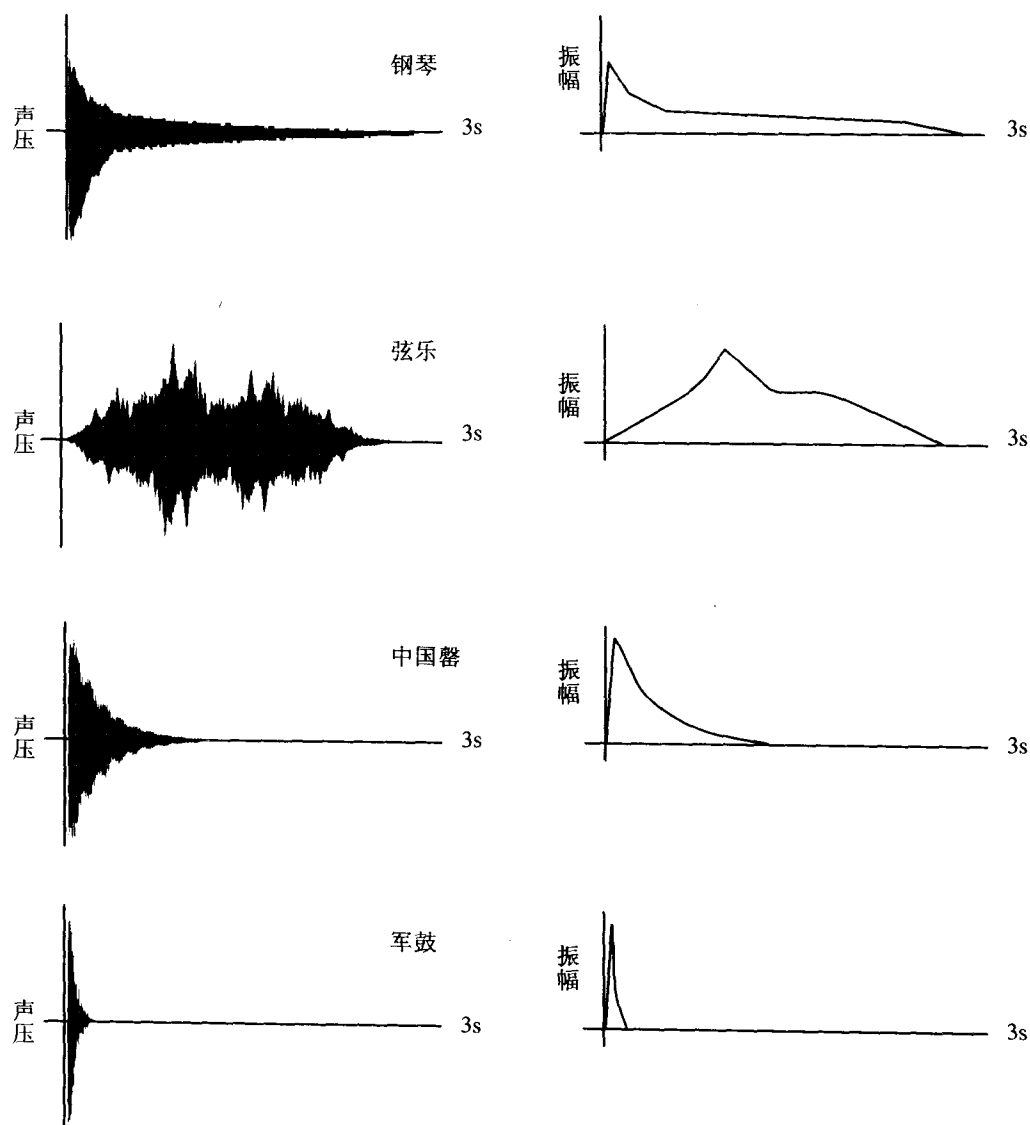


图 1.2.08 各种音色力度随时间的变化

遵循钢琴力度变化曲线的正弦波听起来就像我们已经非常熟悉的音色——电钢琴；遵循弦乐力度变化曲线的正弦波听起来像我们在电声音乐中经常使用的铺底音色——PAD；遵循中国磬力度变化曲线的正弦波听起来很像一个铃铛；遵循军鼓力度变化曲线的正弦波听起来的确是打击乐的感觉，甚至有一点点像木鱼的音色。

通过比较原始波形和结果波形的声音，不难得出一个结论：声音随时间变化的力度模式，对音色有着重要的影响！

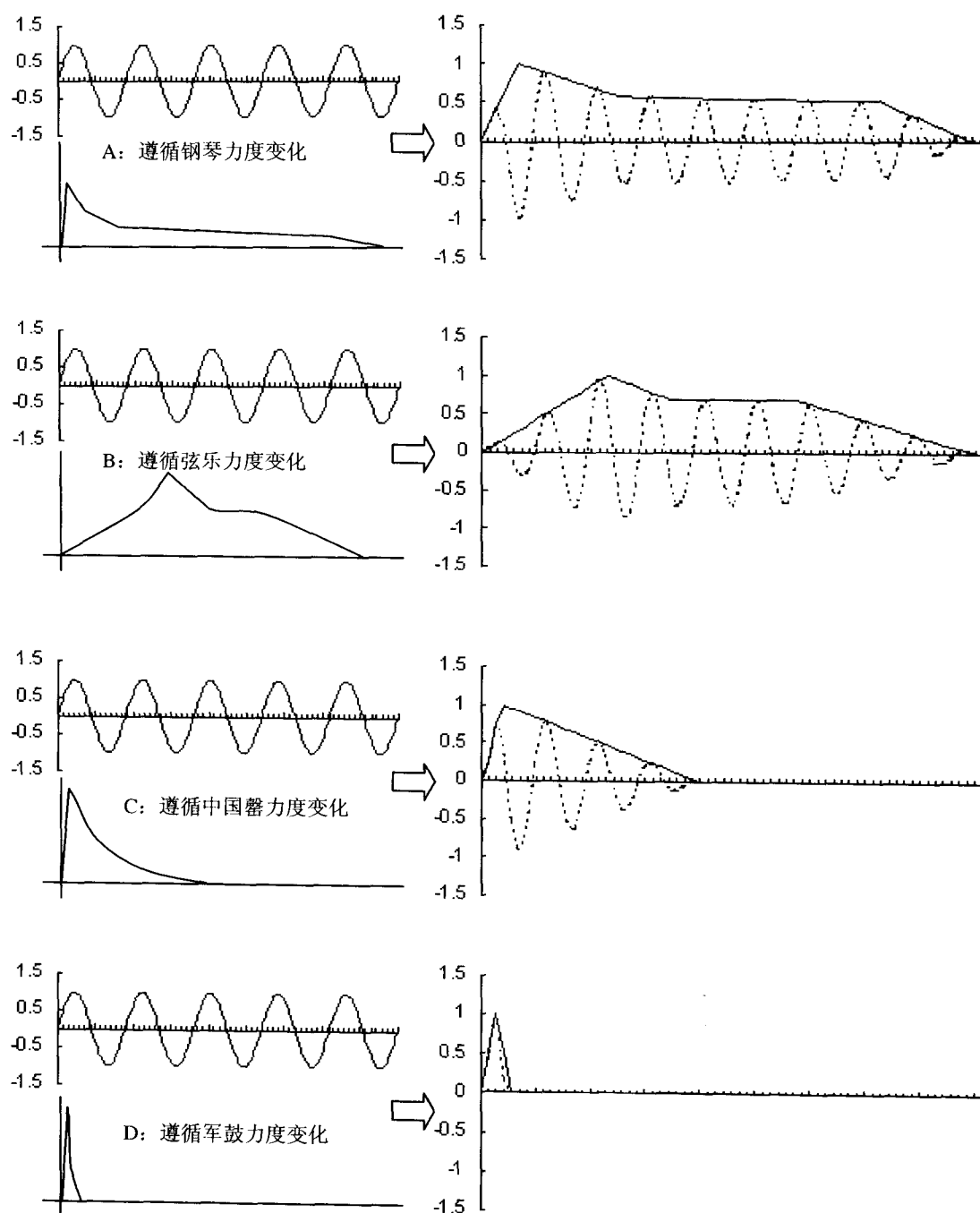


图 1.2.09 遵循力度变化曲线的正弦波

既然声音力度随时间变化的模式对音色有着如此重大的影响，显然其是我们通过电子方式合成音色时一个非常重要的工具，下面让我们看一看描述声音力度随时间变化模式的

方法。

3. 振幅包络——描述音色力度随时间变化模式的方法

声音力度随时间变化的模式，表示在横坐标代表时间，纵坐标代表振幅变化的二维坐标系中时，是一条曲折线。这条曲折线有一个专有名称叫做包络线。表示声音力度随时间变化模式的包络线叫做振幅包络线，简称振幅包络(Amplitude Envelope)。

根据振幅包络对各种不同音色的影响及声音演奏的过程，一般来说将包络分为四个阶段，这就是我们将会常说起 ADSR 四个阶段。

A=Attack	触发(音头)——演奏动作开始
D=Decay	衰减——演奏动作进行中
S=Sustain	延留(保持)——演奏动作进行中
R=Release	释放——演奏动作结束

包含这四个阶段的振幅包络叫做 ADSR 振幅包络，见图 1.2.10 ADSR 振幅包络：

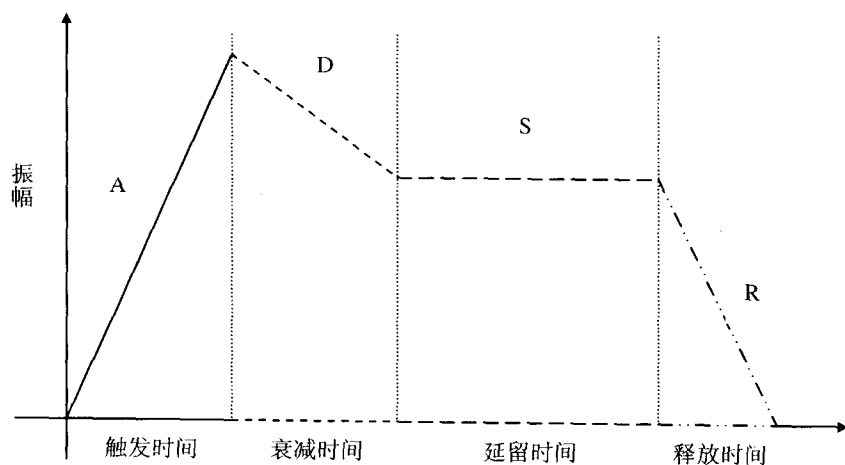


图 1.2.10 ADSR 振幅包络

为清晰起见，各阶段间以竖虚线隔开。包络中实线表示触发阶段，其投射在横坐标上的时间(实线)叫做触发时间。在该阶段当中，振幅从最小增长到最大；短虚线表示的是包络的衰减阶段，其投射在横坐标上的时间(短虚线)叫做衰减时间。在该阶段当中，振幅从最大逐渐衰减到某个值(大于等于最小值)；长虚线表示的是包络的延留阶段，其投射在横坐标上的时间(长虚线)叫做延留时间。在该阶段当中，振幅值保持相对不变；虚实相间线表示的是包络的释放阶段，其投射在横坐标上的时间(虚实相间线)叫做释放时间。在该阶段当中，振幅从某个值(小于等于最大值)衰减到最小值。

当包络线的纵坐标表示的内容不同，如某包络线的纵坐标代表音高变化时，该包络线就叫做音高包络(Pitch Envelope)。其实，包络线不仅可以反映振幅、音高等参数随时间的

变化,还可以反映任意一参数随时间的变化,因此在声音合成中,我们会经常引入包络的概念,用以表示某变量随时间的变化过程。

至此,我们了解了声音力度随时间变化的模式对音色的影响,以及如何记录表示声音的这一动态特性。下面让我们看一看动态音色中另一个重要元素的变化——音高。

思考题:

- 一. 波形是什么?
- 二. 波形的分类有哪些,请举例说明。
- 三. 举例说明音色力度随时间变化的几种模式。
- 四. ADSR 包络各阶段的含义是什么?

练习题:

- 一. 在频谱仪中观测各种音色的波形及音色在力度方面的动态变化。
- 二. 假设图 1.2.03 至图 1.2.05 中,纵坐标表示的参量为音高,音程上下各为大二度。根据锯齿波、方波和三角波的波形,模拟演奏或演唱出相应的音高变化。

第3讲 动态的音色(之二)

本讲中我们将讨论音色的音高、声谱内容随时间变化的特点,以及部分要素之间的相互影响关系,动态地、更全面地考察音色。

一、音色的音高变化

作为声音支柱要素之一的音高^①(Pitch),在发声过程中的变化,对音色的影响是多方面的。对某些音色来说,音高变化使该音色更加生动;对某些音色来说,音高的变化就是其音色的主要内容;对某些音色而言,音高变化对该音色的感知有导向性甚至决定性作用。根据音高变化对音色的作用,我们将音色的音高变化分为两类:结构性音高变化与装饰性音高变化。

1. 结构性音高变化——影响音色感知的音高变化

结构性音高变化是将音高变化看作音色构成的一分子,指对音色感知具有导向性或决定性作用,影响音色构成的音高变化。结构性音高变化还有一个特点——隐蔽性。由于我们已经将结构性音高变化视为构成音色的一分子,所以往往在感知这些具有结构性音高变化的音色时,我们并不明确地意识到,这些音色的音高在变化,而是将其忽略地感知为一个整体的音色。

铜管组(Brass)音色就是具有结构性音高变化的音色。见图 1.3.01 铜管组音色结构性音高变化包络示意图:

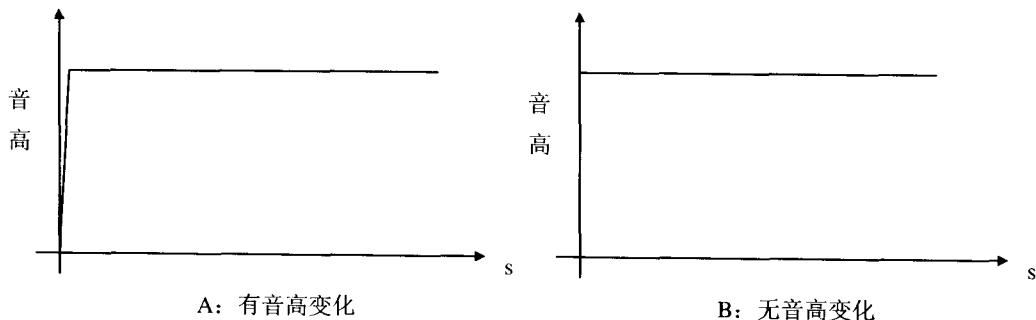


图 1.3.01 铜管组音色结构性音高变化包络示意图

图 1.3.01 是根据减法合成^②的铜管组音色分别在有结构性音高变化和无结构性音高变化的情况绘制的音高包络示意图。图中横坐标表示时间,单位是秒,纵坐标表示音高。图 1.3.01A 表明,在有音高变化时,该音色的音高在触发阶段以很短的时间达到目的音高,然后保持到结束。图 1.3.01B 表明无音高变化时,包络各阶段的音高没有变化。

① 这里所说的音高不是指构成音色声谱中各分量的频率,而是指整个声谱带给人们的音高感知。

② 参见第四章第 6 讲

通过比较两个音色我们得知,没有结构性音高变化的声音有些呆板且不够力度,带结构性音高变化的声音生动得多,且更具铜管音色的冲击力——带结构性音高变化的声音比不带结构性音高变化的声音更“像”铜管音色。本例中铜管组音色的结构性音高变化具有导向性,但不是非常强。对某些音色而言,结构性音高变化具有很强的音色感知导向性,也就是说,在那些音色当中,如果没有了结构性音高变化,那些声音听起来甚至“不像”某某音色了。

从音色比较中我们还得知,没有结构性音高变化的声音比较单薄,更像从一只铜管乐器发出的声音,而带结构性音高变化的声音要厚重得多,是有铜管组群感的音色。从这个意义上说,该铜管组音色的结构性音高变化对音色的感知具有决定性作用。

另外,如果不将带结构性音高变化的声音和不带结构性音高变化的声音,进行比较的话,我们听这个铜管组音色时并不意识到其中的音高变化。这说明结构性音高变化的隐蔽性。从图中可见,结构性音高变化发生的时间非常短暂,而且是在声音的触发阶段,就本例而言,这是导致结构性音高变化具有隐蔽性的原因之一。

2. 装饰性音高变化——对音色感知无影响的音高变化

音色中的装饰性音高变化一般是由附加的或者特殊的演奏方法导致的音高变化。顾名思义,装饰性音高变化只对音色有装饰作用,不改变音色的结构,也就是不影响音色的认知度。与结构性音高变化相反,装饰性音高变化具有突现性。装饰性音高变化包含周期性与非周期性两类。

A. 装饰性周期音高变化

具有周期性的装饰性音高变化是指呈周期性变化重复的装饰性音高变化。其中,我们最熟悉的就是音色的颤音。自然乐器的颤音效果一般通过演奏员控制手指,气息等附加演奏方法得到的。有没有颤音并不影响音色的认知度,既不会因为有没有颤音使音色被感知为其它的音色。并且,颤音这种具有周期性的装饰性音高变化很容易被听觉独立于音色之外捕捉到,与结构性音高变化的隐蔽性相反,具有突现性。

B. 装饰性非周期音高变化

具有非周期性的装饰性音高变化没有周期性的重复现象,在获得方式、对音色的影响及突现性上与具有周期性的装饰性音高变化相同。例如我们比较熟悉的弯音鼓。

装饰性音高变化虽然不对音色的认知度有任何影响,但其是自然乐器的一个非常重要的属性,是我们通过电子方式合成自然乐器音色时不能忽视,以及合成非自然音色时需要借鉴的重要因素。

二、音色的声谱变化

声谱变化是音色各要素动态变化中比较复杂的一环,其不仅随时间发生变化,也会随其它元素的变化而改变;同时,在不断变化的声谱中,还有相对保持稳定的部分。

1. 随时间变化的声谱

在这一部分当中,我们将通过实例了解声谱随时间变化的特性,并认识纪录这些变化的方法。

A. 声谱随时间的变化

像音色的其它要素一样,在音色的发声过程中,随着时间的推移,声谱是在不断变化

的。其中包括分音频率(声谱中到底有哪些分音)及分音振幅(声谱中分音占有声学能量的情况)。让我们以一个采用减法合成的电贝司^① (Electric Bass)音色为例,研究一下音色发声过程中声谱内容随时间的变化。见图 1.3.02 音高为 A2(110Hz)的电贝司音色触发和延留阶段的声谱包络图:

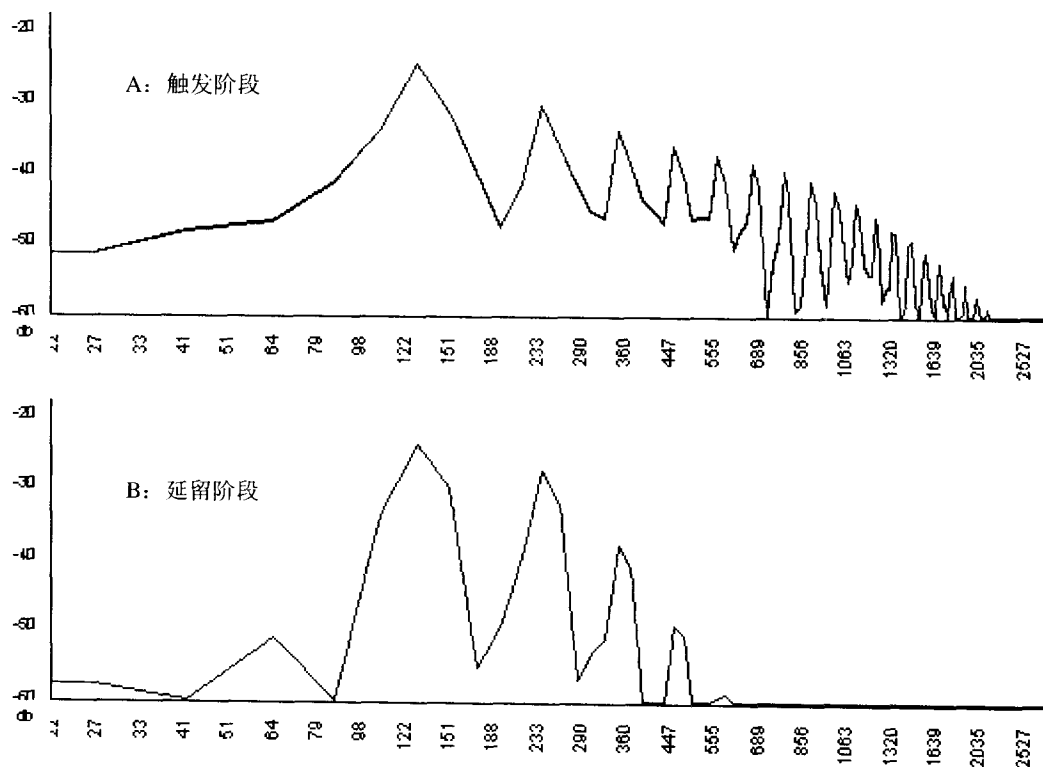


图 1.3.02 音高为 A2(110Hz)的电贝司音色触发和延留阶段的声谱包络图

图 1.3.02 中所示为音高是 A2(110Hz)的电贝司音色分别在触发和延留阶段某一时刻的声谱包络图。由图 1.3.02B 可见,首先在分音频率方面,延留阶段时主要声学能量集中的基频(110Hz)附近,在 680Hz 以上几乎没有任何能量分配,而触发阶段(图 1.3.02A)时,除了占主导地位的基频能量外,一直到 2000Hz 以上还有许多分音,而且都分配有比较丰富的声学能量。其次,在分音振幅方面,虽然电贝司音色的触发和延留阶段 300Hz 至 500Hz 范围内都有一定数量的分音,但是明显触发阶段时,该频率范围内分音的振幅比延留阶段时要大得多,且随着分音频率的增加呈递减趋势。这说明了电贝司音色音头与其它部分音色的差异,音头部分高频要多得多,但由于电贝司的触发时间非常短,因此虽然高频多,但带给我们的听觉感受并不仅仅是明亮,还有强劲有力的感觉。

B. 记录声谱随时间的变化

^① 见第四章第 3 讲。

无论是采用声谱图或声谱包络图,纪录声谱随时间的变化都很不方便,因为它们只能反映某一时刻的声谱状况。当然,我们可以通过单位时间取样的方法来表示,但是这样太浪费资源,试想如我们每间隔 1/10 秒取一张图的话,一个长 3 秒钟的声音的声谱或声谱包络图就要多达 30 张!这显然是不可取的。

一般我们采用声谱瀑布图来表示声谱随时间的变化。在声谱瀑布图中,一般横坐标表示时间,纵坐标表示频率,而分音的振幅用颜色来区分。见图 1.3.03 电贝司声谱瀑布图:

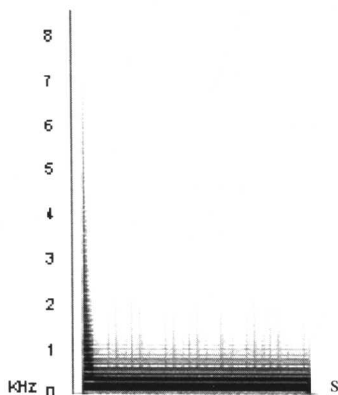


图 1.3.03 电贝司声谱瀑布图

图 1.3.03 是一张黑白的电贝司声谱瀑布图,横坐标表示时间,单位是秒;纵坐标表示频率,单位是千赫兹(KHz);中间像瀑布一样的图案代表声谱中包含的分量以及它们的振幅大小,就本图而言,黑白两色分别代表振幅最大至最小。某些声谱瀑布图是彩色的,一般这样的图会给出图例,告知特定颜色代表的振幅大小。

图中所示为时长大约 2 秒钟,音高为 A2(110Hz)的电贝司音色的声谱瀑布图。通过这张图,我们就可以方便获知各个时间段内,该音色的声谱能量分配状况。

电贝司音色的声谱随时间的变化比较简单,只改变了一次,而某些复杂声音的声谱随时间变化的频次不仅多,而且模式非常复杂,我们在通过电子方式合成与制作音色时要具体问题具体分析。

2. 随其它因素变化的声谱

音色的声谱除了随时间改变之外,还会随着音色中的其它基本要素的变化而改变,让我们主要看一看声谱随演奏音高和力度的变化。

A. 随演奏音高变化

顾名思义,随音高变化的声谱,可以理解为不同音高演奏某一音色时,其声谱是不同的。同样包括声谱的分音频率和分音振幅两方面。让我们同样以电贝司为例,看一看声谱随音高变化的特性,为节省篇幅,我们只取了三个音高的声谱包络,见图 1.3.04 相差一个八度的电贝司音色触发阶段声谱图:

图 1.3.04A、B 和 C 显示了三者的主要声学能量分布在不同频段,分别在其各自的基频 110Hz、82.5Hz 和 55Hz 左右。此外,还显示了三者虽同是触发阶段的声谱包络,但随着音区的降低,高频分音数量呈递减趋,表明分音数量随演奏音高的变化;高频分音占有

的能量越来越少,表明分音振幅随演奏音高的变化。电贝司音色声谱内容随演奏音高的变化表明音区越高,音头包含的高频越多,给人越强劲的听觉感受;音区越低,音头包含的高频越少,带给人的是越来越趋于浑厚、圆润的听觉感受。

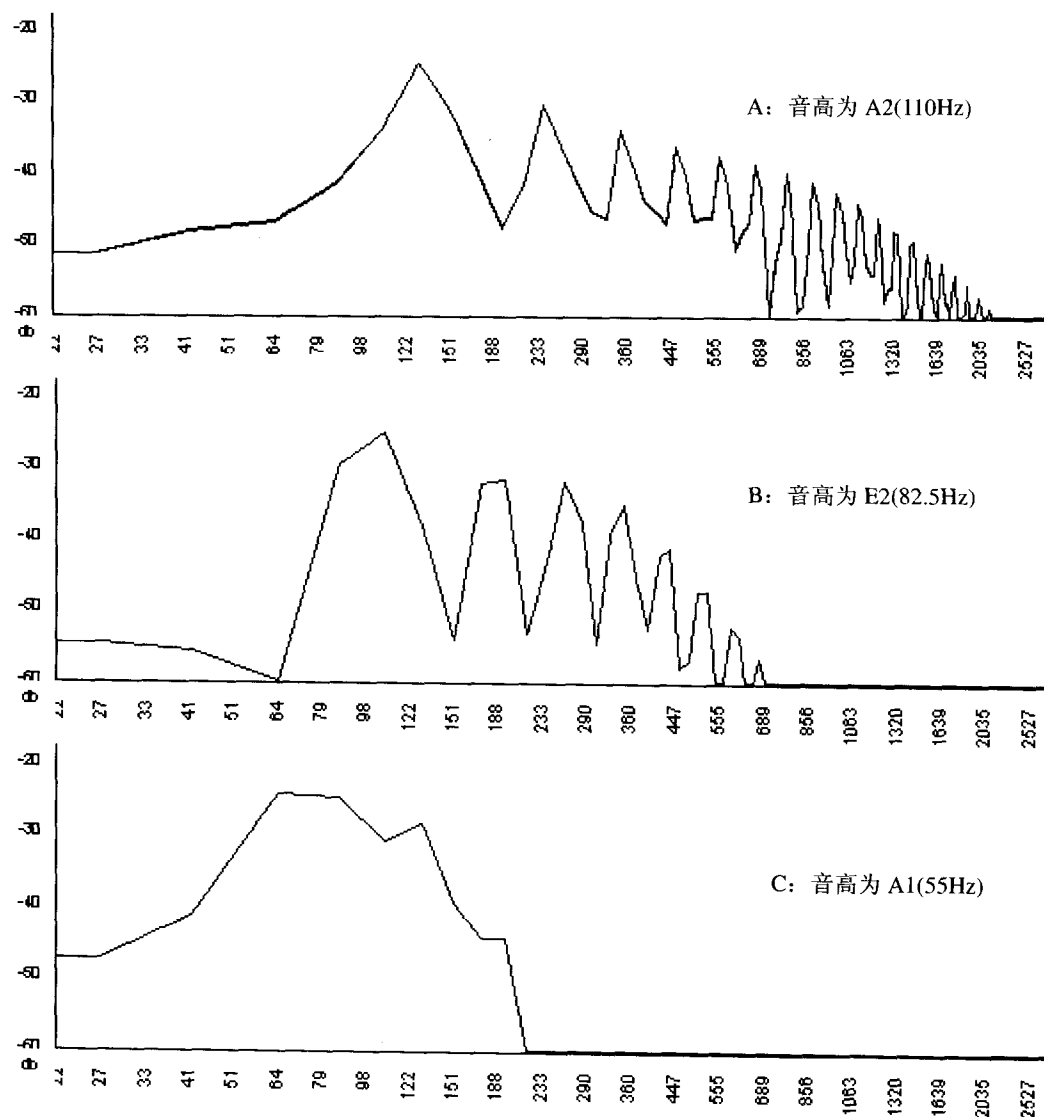


图 1.3.04 相差一个八度的电贝司音色触发阶段声谱包络图

B. 随演奏力度变化

对声学乐器而言,音色虽演奏力度而改变是很自然的现象。例如我们在重弹和轻下键演奏钢琴时,带给我们是截然不同的音色感受。音色声谱内容随演奏力度的变化同样包括两个基本方面:分音频率和分音振幅。让我们仍旧以电贝司为例,看一看声谱随演奏力度变化的情况。见图 1.3.05 不同力度演奏的电贝司音色触发阶段声谱包络图:

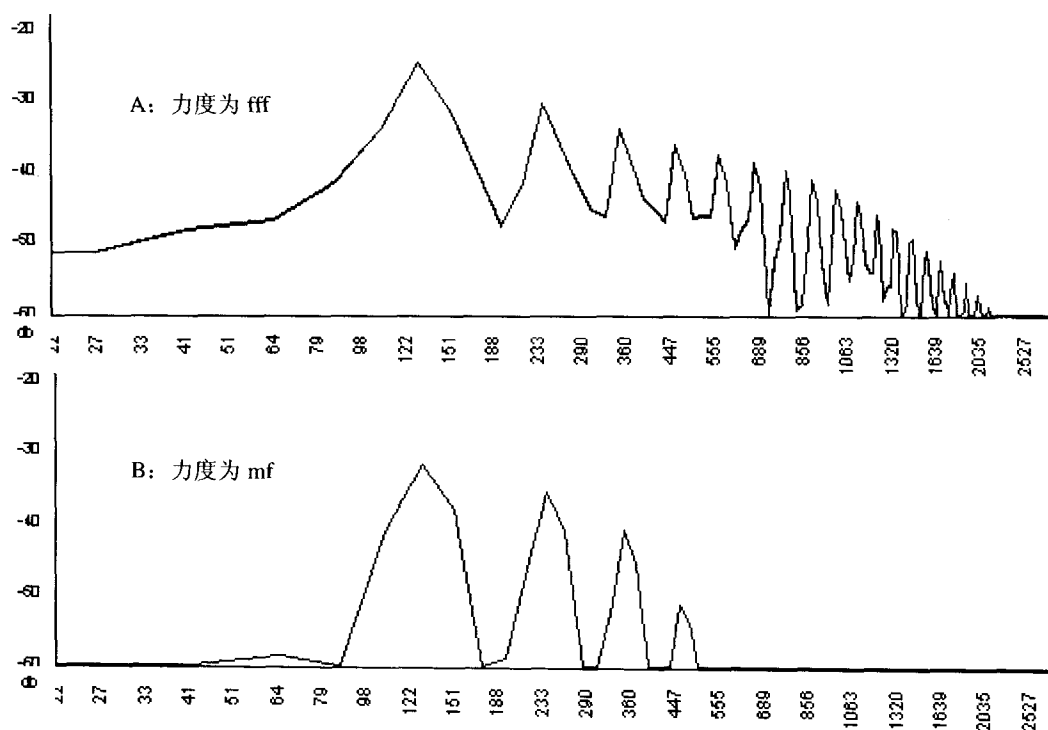


图 1.3.05 不同力度演奏的电贝司音色触发阶段声谱包络图

图 1.3.05A 和 B 所示皆为音高 A2(110Hz)的电贝司音色触发阶段的声谱包络图，唯一不同的是前者的力度为 fff，后者是用 mf 的力度演奏的。由图可见，二者由于音高相同，因此主要声学能量都集中在基频(110Hz)左右；fff 演奏的音色比 mf 演奏的音色包含更多的高频分音，表明电贝司音色随着演奏力度的增加，高频分音逐渐增多；同时，高频分音占有更多的声学能量，表明电贝司音色随演奏力度的变化。这意味着越强度演奏该音色，带给我们的听觉感受就越强劲，越弱力度演奏该音色，得到的音色带给我们的听觉感受就越圆润。

就本例而言，电贝司的声谱随力度的变化带给我们的听觉感受是音头冲击力的变化。不同乐器音色的声谱随内容随力度变化的模式不同。如钢琴声谱随力度的变化带给我们的感受之一就是明暗度的变化，力度越大音色越明亮，力度越小则音色越朦胧。

至此，我们了解了声谱随时间及随音高和力度变化的现象。对于许多声学乐器来说，声谱除了会随着不同因素变化以外，在纷繁复杂的变化当中，还有一部分稳定因素，那就是人声和大多数声学乐器所具有的共振峰现象。

3. 变化中的稳定因素——共振峰

人声及许多自然乐器如小提琴等在发声时，发声体都是在一个共鸣箱体中振动的，如口腔，琴箱等。当发生体在振动时，共鸣箱体也在一起共振。由于受到共鸣箱的尺寸大小，材质等影响，在演奏不同音高时，总是有某段频率保持一定的共振能量，不随音高的改变而消失，这就是声学乐器中普遍存在的共振峰(Formant)现象。

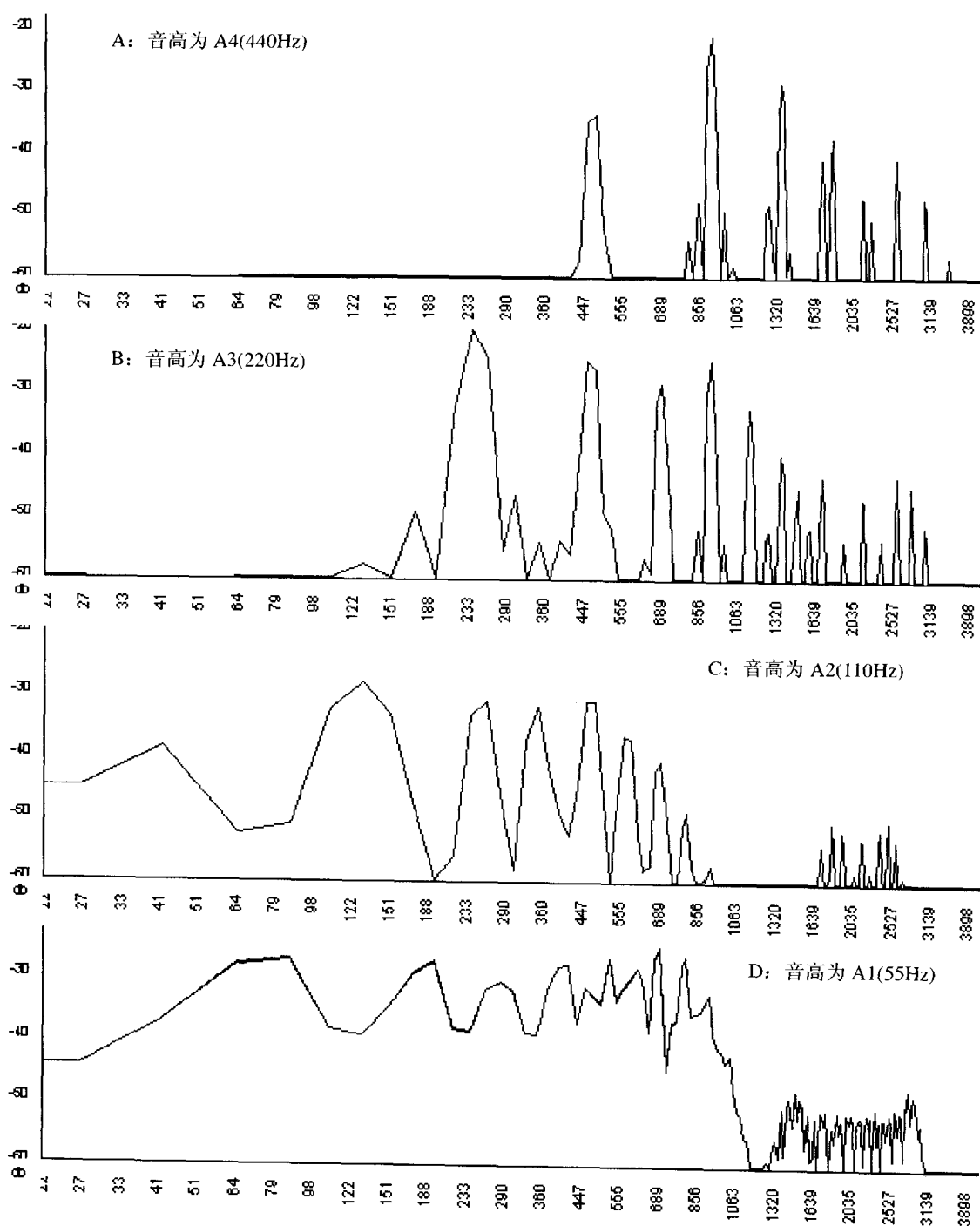


图 1.3.06 不同音高演奏的 FM 铜管音色触发阶段声谱包络图

让我们以采用 FM 合成^①原理制作的 FM 铜管音色为例,看一看音色的这一特质。见图 1.3.06 不同音高演奏的 FM 铜管音色触发阶段声谱包络图:

图 1.3.06A、1.3.06B、1.3.06C、1.3.06D 分别是 FM 铜管音色在音高为 A4(440Hz)、A3(220Hz)、A2(110Hz)、A1(55Hz)时的声谱包络图。由图可见,其各自的主要声学能量随着基频的不同而不同,音高为 A4 的音色声谱主要声学能量集中在 440Hz 左右,其它分别集中在其基频 220Hz、110Hz 和 55Hz 左右的频段;各音高声学能量的分布也不尽相同,高频的能量分布随着音区的降低而递减,但有一个相似之处,那就是在 2100Hz 左右的频段,各音高的 FM 铜管音色都占有一定的声学能量,这在低音区(A2、A1)显得格外突出,似乎这部分分音脱离了主声谱而独立存在一样。听觉上感受起来也是低音区比较明显,高音区时(A3、A4)共振峰与主声谱融合在一起,不容易分辨出来,而在低音区时,可以清晰地听到共振峰带给我们的像“哨音”似的声响。

对自然乐器而言,声谱随着音色发声的过程产生变化;不同音高、力度演奏的音色具有不同的声谱;声谱变化中的共振峰等是普遍存在的现象。我们在合成声音时要注意声音的这一特性,以便在合成制作音色时,无论模仿声学乐器音色,还是创造自然界不存在的电子音色,都能够使它们听起来自然,生动。

影响一个音色的基本要素有很多,总结本章内容看来,不外乎两个层面。一个是从静态角度来看,音色所包含的内容——频率层面;另一个就是以动态角度观察音色的时间层面。

至此,我们从静态和动态两个层面,考察分析了音色的各个基本物理要素的内容、相互关系以及变化特点,从理论层面对音色有了一个比较基础的认识,并了解了如何定量地描述这些内容的方法,完成了认识声音合成与制作实践需要的基础理论工作。下面让我们进入到声音合成与制作实践的准备阶段,为声音合成与制作实践做技术上的铺垫。

思考题:

- 一. 试比较结构性音高变化与装饰性音高变化的异同。
- 二. 声谱瀑布图的作用是什么?
- 三. 音色的声谱内容主要随哪些因素变化?
- 四. 试总结声音合成中应当注意自然音色的哪些属性?

练习题:

在频谱仪中观测音色在力度、音高、声谱内容方面的动态变化。

^① 参见第五章第 3 讲第一节。

第二章 合成基础

本章中，我们将以频率维度和时间维度为线索，按照理论上声音合成与制作的基本步骤，一步一步地介绍声音合成的含义、各步骤的目的及所需要的工具。

第1讲 获得静态声谱

从上一章我们已经知道，虽然构成音色的基本要素有很多，但是声谱构成是最重要的两个维度之一^①。一般来说，声音合成的首要步骤就是通过各种方法，首先获得静态的声谱。

一、概念与方法

在了解获得静态声谱的方法及工具之前，让我们先看一看声音合成在获得静态声谱层面的含义及其理论依据。

1. 合成的含义

通常认为声音合成(Sound Synthesis)表示声音合成与制作的全过程。其实，合成是从声音制作的第一个步骤——获得静态声谱中得出的概念。对合成这个词我们大家并不陌生，无论古代中国的炼丹术士，还是现代的化学家们，他们都是利用含有某些元素的物质，或者是元素本身，通过一系列方法，将这些元素加在一起，合成出一个新的物质。其中，第一步，也是最重要的，就是选择进行合成的基本单位——元素。同样，在声音合成中，我们需要做的第一件事情就是找到这个元素。

由上一章介绍的各种声音来看，从它们的声谱分析不难得出，最简单的声音就是只包含一个分音(基频)的正弦波^②。让我们以五个频率为整数倍关系的正弦波作为基本元素，尝试进行声音的合成。见图 2.1.01 频率为整数倍的五个正弦波。

如图 2.1.01 所示，正弦波 B、C、D、E 的频率分别为正弦波 A 的 2 倍、3 倍、4 倍、5 倍。假设正弦波 A 的音高为 A4(440Hz)，由于频率为整数倍，那么正弦波 B、C、D、E 的音高分别等于或约等于 A5(880Hz)、E6(1320Hz)、A6(1760Hz)和 C#7(2200 Hz)^③。这五个正弦波的振幅相同。这五个正弦波听起来除了音高不一样之外，音色感觉完全一样，都是正弦波的音色。

① 另一个是声音随时间维度的变化

② 见第一章第1讲，谐和声谱 / 正弦波

③ 参见附录一：《十二平均律音名、音符号与频率对照表》

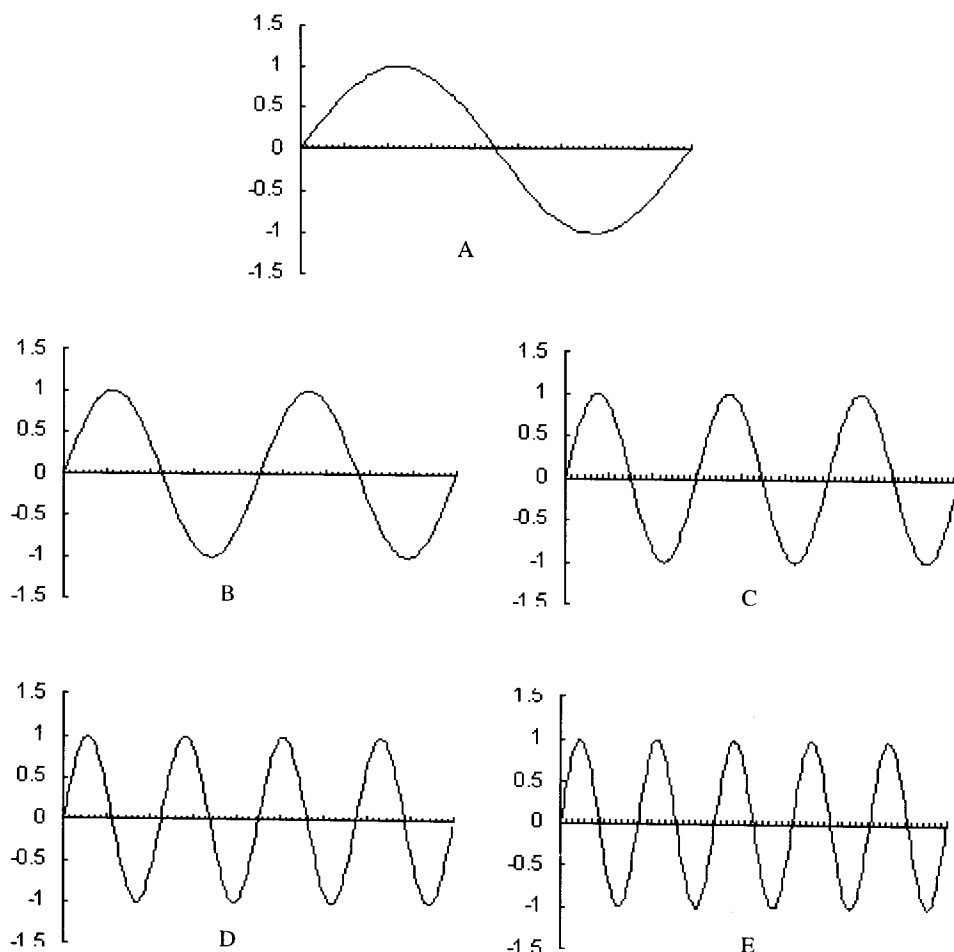


图 2.1.01 频率为整数倍的五个正弦波

如果我们分别将正弦波依次相加，如 $A+B$ 、 $A+B+C$ 、 $A+B+C+D$ 和 $A+B+C+D+E$ ，看一看我们能够得到什么样的波形。所谓相加，意思是将某一时刻，参与运算波形纵坐标的值相加，得到的和作为结果波形该时刻纵坐标的值。见图 2.1.02 不同正弦波相加得到的波形。

图 2.1.02 中，图左分别为图 2.1.01 中的正弦波 $A+B$ 、 $A+B+C$ 、 $A+B+C+D$ 和 $A+B+C+D+E$ 后的声谱图^①（声谱 2、声谱 3、声谱 4 和声谱 5），由图中可见，结果声音的声谱成份不断增多，且所占声学能量都相同（各成份振幅相等）。图右分别为图 2.1.01 正弦波 $A+B$ 、 $A+B+C$ 、 $A+B+C+D$ 和 $A+B+C+D+E$ 后得到的结果波形图^②（波形 2、波形 3、波形 4 和波形 5），其中，虚线表示相加的原始正弦波形。

① 横坐标表示分音序号，纵坐标表示振幅

② 横坐标表示时间，纵坐标表示声压变化

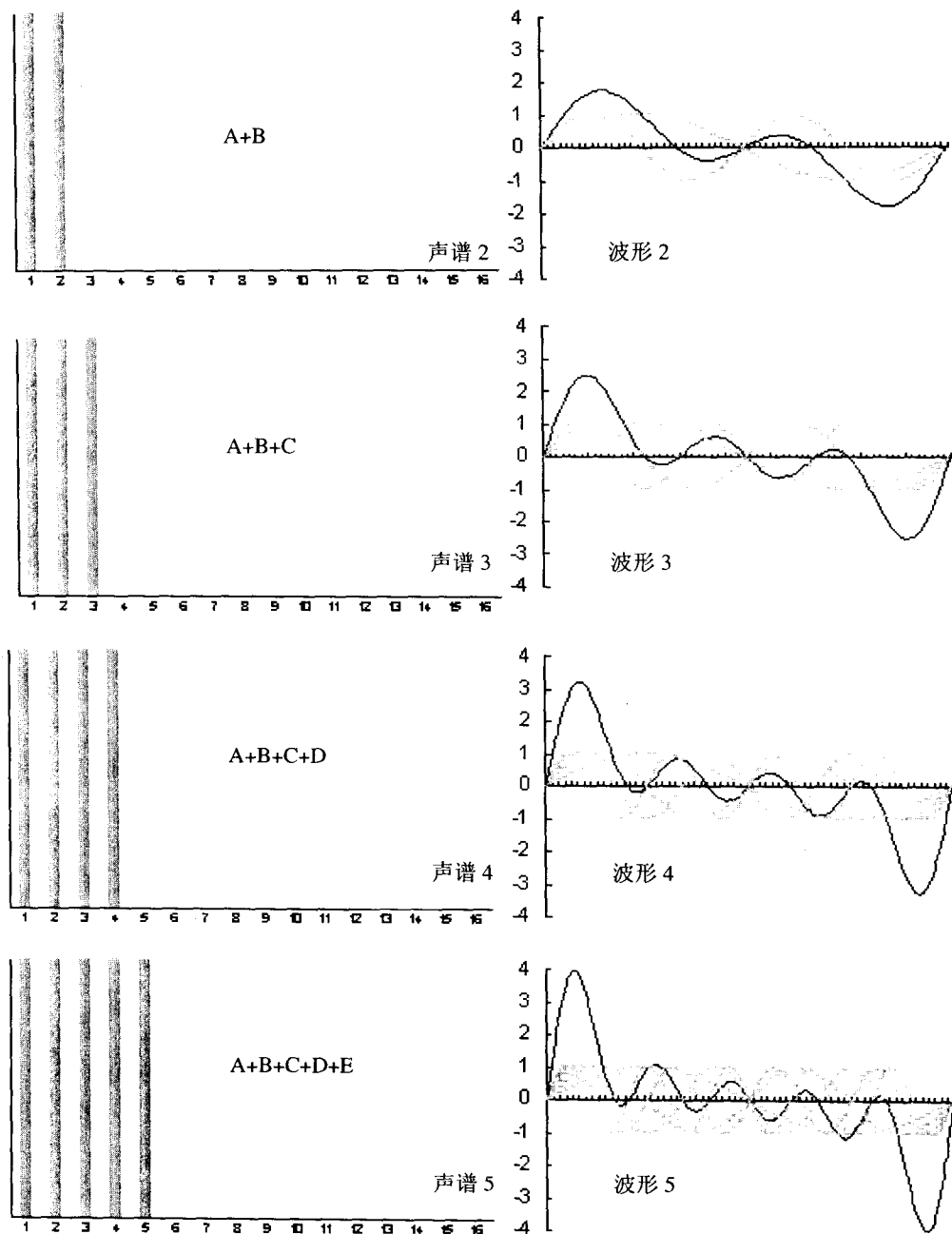


图 2.1.02 不同正弦波相加得到的波形

图 2.1.01 中正弦波 A 与正弦波 B 相加后，图 2.1.02 中的波形 2 分别依照正弦波 A 和正弦波 B 产生了二次波动，依次类推，图 2.1.01 中的正弦波 A+B+C、A+B+C+D 和 A+B+C+D+E 的结果波形——图 2.1.02 的波形 3、波形 4 和波形 5 中，分别产生了三次、四次和五次波动——结果波形声压随时间的变化模式越来越复杂。同时，随着相加波形数

量的增多, 结果波形的振幅峰值也越来越大。

图 2.1.02 中波形 2(图 2.1.01 中正弦波 A+B 的结果波形)与原始正弦波最相像, 整个曲线的波动基本上还是正弦曲线的模式, 只是多了一个波动, 声音听起来也与原始正弦波的音色比较接近, 但似乎音质已经发生了变化, 而且音量要显得略微小一些。随着相加正弦波数量的增多, 音色发生了彻底变化, 声音听起来已经完全没有正弦波那种单纯的感觉, 甚至波形 5(最后一个结果波形)听起来还有些刺耳, 并且感觉音量大了许多倍。

通过上例图 2.1.01 中正弦波 A、B、C、D、E 相加, 合成图 2.1.02 中的声音波形 5, 可以说明, 使用我们认为是声音基本元素的正弦波进行声音合成, 在实践上是可行的。

使用基本声音元素, 通过一定的方法, 合成产生出新的音色, 这就是声音合成在获得静态声谱层面的含义。

2. 傅立叶理论

在进行声音合成中, 除了像前文所述那样, 由基本要素合成一个全新的音色, 而且是自然界中可能不存在的音色以外, 很大一部分音色合成的目的是为了模拟一个已经存在的音色。

假设已知某音色的波形与图 2.1.01 中波形 5 的波形一样, 我们可以肯定地告诉大家, 该波形等于频率为整数倍关系的五个等振幅正弦波相加。也就是说, 图 2.1.02 中的声音波形 5 等于图 2.1.01 中正弦波 A、B、C、D、E 相加。如果用图形方式来表示的话, 见图 2.1.03 波形等式^①:

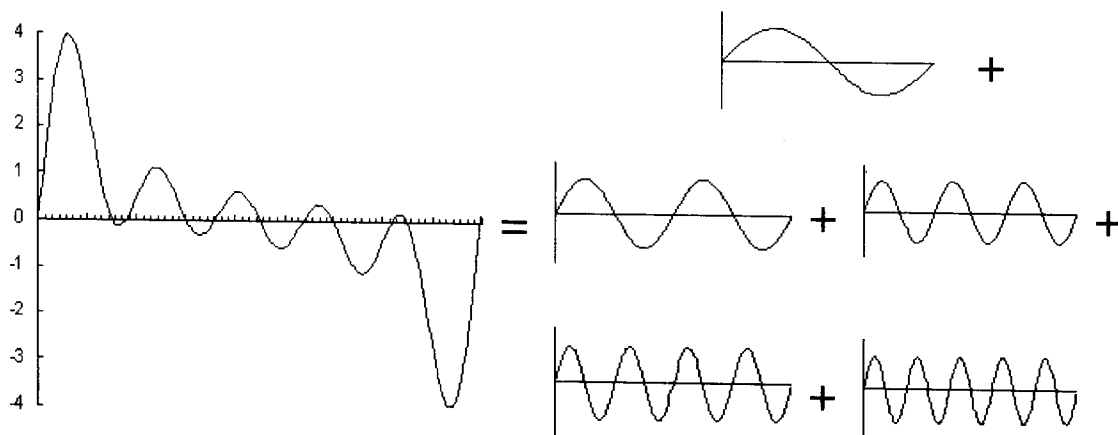


图 2.1.03 波形等式

之所以我们可以清晰地告诉大家合成该声音的方法, 因为我们前面正是采用那个方法合成的该音色。但是, 如果已知音色不是我们采用上述方法合成的, 而是一个自然乐器音色, 我们如何判断, 该自然乐器音色的声谱是否也存在前例中的关系呢? 换言之, 正弦波能否作为合成一切声音的基本元素呢? 答案是肯定的:

^① 有关等式、不等式等数学概念请参阅相关数学参考书籍

数学家 吉恩 巴替斯特 傅立叶 (Jean Baptiste Fourier) 证明, 任何一个周期性波形, 都可以分解为一个或多个正弦波的叠加。这就是著名的傅立叶理论, 也是本书的理论基石^①之一。

了解了傅立叶理论以及合成的含义后, 我们就可以着手进行声音合成了。在进入具体的合成技术之前, 我们还需要做一些准备工作。

3. 合成方法

这里所说的合成方法指获得静态声谱的合成方法。在确定合成方法之前, 我们首先要对需要合成的声音进行分析^②。

A. 音色构想与分析

我们要合成的声音不外乎两类, 一类是自然界不存在的声音, 另一类是模仿自然声音的音色。

模仿自然界现有的声音声谱, 是合成声音中最难也是最复杂的任务。获得自然声音声谱的途径也有两个, 一个是从现有文献, 站在别人研究成果的肩膀上进行声音合成, 这是比较容易的方法; 另一个就是借助频谱仪等软硬件器材, 通过大量的实践分析以及数学计算, 获得自然声音的声谱。显然, 后者的难度要大得多。

在传统绘画领域, 大家似乎有这样一个约定俗成的认识: 画鬼容易, 画人难。意思是谁都还没见过的鬼容易画, 因为你画成什么样都可以; 从这一角度上说, 画人要难得多, 因为如果画人有一点不像, 即使是外行也能一眼看出破绽。合成自然界中不存在的声音有点像绘画中的画鬼。因为这个声音在没合成出来之前, 是没有人听过的。合成全新的声音不必受某个目的声谱的限制, 仅从这个角度上说, 要比模拟自然声音容易一些。当然, 要合成一个好的非自然音色并不是一件容易的事情, 其整体的难易度及工作量决不亚于模拟自然声音。

总之, 无论是模仿自然界的声音还是合成全新的音色, 共同的目的就是通过合成的方式获得结果声谱。在确定了需要合成声音的类型之后, 就需要选择适当的声音合成算法。

B. 确定算法及绘制框图

大家也许听说过诸如加法合成、减法合成、FM 合成等各种不同的声音合成算法名称, 它们虽然各自的机理不同, 但目的与作用是一样的, 就是获得静态声谱。

每种合成方法有其自身的优势和弱点, 在我们进行声音合成, 获得目的声谱之前, 要根据目的声谱的特点决定采用哪种合成方法。有关合成方法的具体含义和内容, 我们会在以后的章节中, 以实践的方式具体介绍。

在确定了声音算法之后, 应该绘制出声音合成方法的工作流程框图。就是将声音合成中所涉及的工作单元、操作等用图形来表示, 然后以流程图的方式, 将整个合成方法表示出来。有关工作单元、操作步骤等内容具体的, 约定俗成的图形表示方法, 以及如何绘制流程框图等内容我们也将在今后的章节中介绍。

声音合成的第一步就是通过对目的声音的分析或构想, 确定适当的声音合成算法。然而目前还没有一种声音算法可以涵盖音色合成与制作的全部, 也就是说, 对模拟自然音色

① 按照知识的内在逻辑, 应该先介绍傅立叶理论, 才能言及声谱等衡量声音内容的方法。本书没有按照知识自身的逻辑介绍它们, 而是从音色合成与制作的实践出发, 按照知识学习的接受规律安排内容先后的。

② 请参考本书第七章《合成方法的综合应用及其特性》。

而言,没有一种声音算法可以做到完美地再现自然音色的特质。因此很多时候,需要将多种合成方法结合起来一起使用,才能达到部分目的。当然,如果我们音色合成的目的是创造非自然音色的话,那就又另当别论了。不过综合全面地使用声音算法可以给声音合成带来更多的可能性,这一点是不容置疑的。

通过以上内容,我们了解了声音合成的含义,以及在着手进行声音合成与制作之前需要的案头准备工作。下面让我们进入到声音合成实际操作的理论及工具介绍部分。

二、获得声源

声音合成实际操作的首要任务就是获得声源——获取振动源,一般可以通过以下几种方式:电子振荡、数字音频文件和实时音频。

1. 电子振荡

我们知道电子乐器的发声源是电子振荡。我们在进行声音合成时,产生电子振荡的工作单元叫做电子振荡器,简称振荡器(Oscillator 或 Osc)。

A. 振荡器及其图形符号表示方法

由于振荡器的原理涉及过多的理科知识,且并不是本书的重点,因此本书将不做介绍。我们主要了解振荡器的功能作用、参数及表示方法即可。振荡器可以按照不同波形的声压变化模式,产生相应的电子振荡,从而发出相应波形的声音。见图 2.1.04 振荡器^①:

图 2.1.04 以上方下圆的图形表示振荡器;竖线表示信号流,信号流动方向为由上至下;图中及信号线的旁注文字是参数名称。在声学上,一个声音最基本也是最重要的两个基本要素就是频率及振幅。振荡器中无疑包含这两个基本要素。图 2.1.04 中右上参数 fq 是 Frequency 的缩写,表示振荡器的频率参数;左上参数 amp 是 Amplitude 的缩写,表示振荡器的振幅参数。图中参数 wf 是 Waveform 的缩写,代表波形。振荡器的下方是信号输出端 O/P(Output 的缩写)。

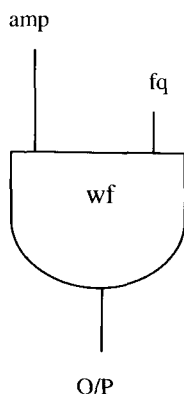


图 2.1.04 振荡器

^① 本书部分示意图中没有采用中文注释,采用的是国际通用的英文缩写标注。

振荡器中，wf 可以是某种所需波形，一般情况下，我们用具体的文字或图形代替 wf 来表示。见图 2.1.05 产生不同波形的振荡器：

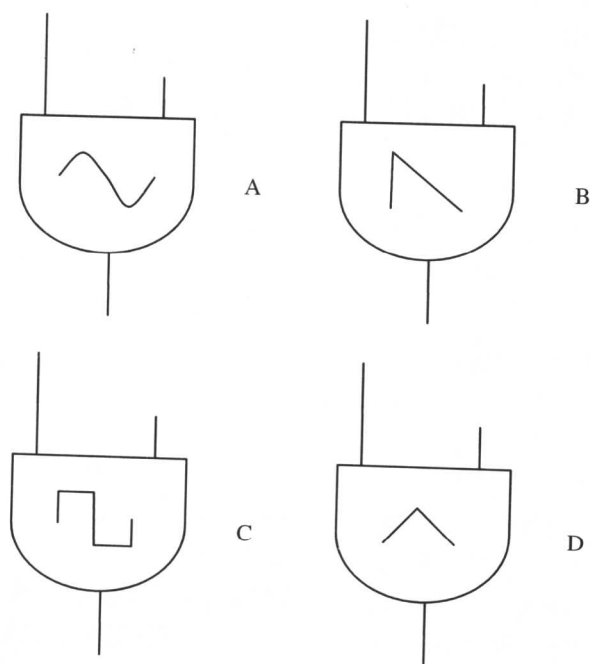


图 2.1.05 产生不同波形的振荡器

图 2.1.05 中振荡器 A、B、C、D 分别为产生正弦波、锯齿波、方波和三角波的振荡器。振荡器中以各个波形的图形代替了文字部分。无论从理论算法，还是从实践操作上来说，振荡器 A——正弦波振荡器是最容易获得的，振荡器 B、C、D 都是通过一定的算法实现的，但总的来说他们都属于简单波形振荡器。

B. 振荡器的类型

按照振荡器产生波形的种类及其功能，我们将常见振荡器分为简单波形振荡器、复杂波形振荡器和特殊功能振荡器。

a) 简单波形振荡器

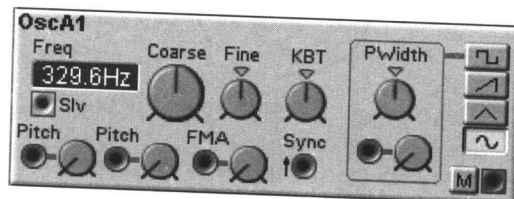


图 2.1.06 简单波形振荡器

图中所示为 Nord Modular 振荡器模块中的一个，名称为 OscA(振荡器 A)。图右四个带有简单波形图案的灰色长方型按钮，可以选择振荡器 A 产生的波形类型，分别是正弦波、

三角波、锯齿波和方波。默认状态为正弦波。

b) 复杂波形振荡器

除了上述产生简单波形的振荡器之外,有一些产生复杂波形的振荡器,如噪音(Noise)振荡器、打击乐(Percussion)振荡器。见图 2.1.07 复杂波形振荡器:

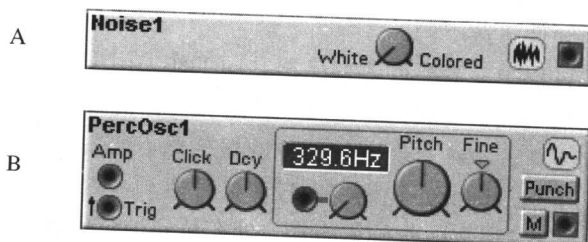


图 2.1.07 复杂波形振荡器

图 2.1.07A 和 B 所示分别为噪音振荡器 Noise 和打击乐振荡器 PercOsc (Percussion Oscillator)。噪声振荡器可以产生声谱内容极其丰富的噪声,并可以通过旋钮调节高频声谱的能量分布;打击乐振荡器是用来产生类似打击乐器音色特质的声音,其振幅和频率都可以被其它模块改变(调制)。

c) 特殊功能振荡器

另外还有一些具有特殊功能的振荡器,如可以直接调节声谱内容的振荡器、共振峰振荡器等等。见图 2.1.08 特殊功能振荡器:

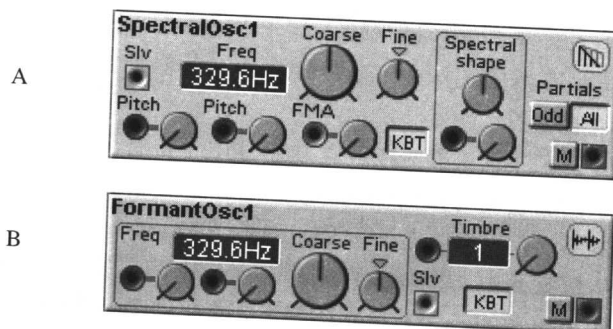


图 2.1.08 特殊功能振荡器

图 2.1.08A 和 B 所示分别为声谱振荡器 SpectralOsc 和共振峰振荡器 FormantOsc。声谱振荡器可以通过 Spectral Shape(声谱形状)旋钮改变该振荡器所发声音声谱包络的形状(如图 2.1.08A 右上角的声谱包络示意图所示);共振峰振荡器可以使所发出声音的声谱中,始终保持着某一频段的声谱能量,用以模拟自然乐器或人声的共振峰现象。在 Nord Modular 中该共振峰振荡器是用来模拟人声的。

以上,我们了解了振荡器的图示方法,并按照振荡器产生的波形及其功能等分别了解了简单波形振荡器、复杂波形振荡器和特殊功能振荡器。在很多声音合成系统中,振荡器

之间还存在着这样一种逻辑关系，那就是主属关系。

C. 主振荡器与属振荡器

无论是硬件还是软件的声音合成系统，只要是实时声音合成系统，都牵涉到一个发音数问题。发音数的多少取决于硬件中振荡器的数量多少以及软件可以管理的振荡器数量。而振荡器的数量与速度取决于硬件芯片的速度、内存的大小等资源。因此，为了节省资源，分配给不同振荡器的硬件资源不同。

很多音色的合成过程中，需要许多振荡器共同工作。由于算法的需要，这些振荡器之中存在着主导和从属的关系。例如处在从属地位的振荡器的音高需要随着处于主导地位振荡器音高的变化而变化。往往处在主导地位振荡器需要占用较多的硬件资源，而处在从属地位的振荡器则不然。因此，我们将占较多硬件资源，处在主导地位振荡器叫做主振荡器(Master Oscillator)，将占较少硬件资源，处在从属地位的振荡器叫做属振荡器(Slave Oscillator)。



图 2.1.09 主振荡器与属振荡器

如图 2.1.09 所示，主振荡器 MasterOsc^①左下角的灰色方形输出端子 Slv(属)，用于连接位于属振荡器 OscSlvA 左下角灰色圆形输入端子 Mst(主)。细心的读者从上文介绍的特殊功能振荡器——声谱振荡器的图示中不难发现，该振荡器是主振荡器的一种，因为它也带有连接属振荡器的输出端子。

有一点值得提醒大家注意：虽然在各种软硬件电子声音合成系统中都存在主振荡器与属振荡器的这种关系，但他们对振荡器的分类与命名不尽相同，也就是说某些系统中，符合上述关系的振荡器不一定都叫做主振荡器和属振荡器。

自电子合成诞生以来，电子振荡一直是声音合成中的主要声音来源。大部分声音算法都是采用电子振荡作为声源的。随着技术的进步，尤其在商业领域，另一中声源变得越来越普及，那就是数字音频。

2. 数字音频

所谓数字音频声源就是通过脉冲数码调制(Pulse Code Modulation 既 PCM)技术对模拟的声音进行采样(Sampling)获得的声源^②。通俗地理解就是将模拟声音变成声音合成系统可以识别的电子声音，然后将其当作声音单元来使用，进行声音合成。

由于数字音频声源大都是通过对自然乐器声音进行采样得到的，其声谱已经是非常复杂的声谱。因此在使用数字音频声源进行声音合成时，就不适宜使用一些要求使用简单声

① 在 Nord Modular 中，有物理上和逻辑上的主振荡器之分，图中所示的逻辑主振荡器占用的资源反而很少。

② PCM 原理及采样技术不是本书的重点，因此不再赘述，请参考其它专业书籍。

音元素获得目的声谱的声音合成算法,如加法合成、FM 合成等。通过数字音频声源进行声音合成采用最多的声音合成算法是减法合成。

采样器就是专门使用数字音频声源进行声音合成的硬件系统。大多数采样器都采用减法合成的方法进行声音制作,而减法合成方法将在第四章中专门进行介绍,因此,这里不再赘述有关如何通过采样器合成制作声音等内容,且本书也没有应用数字音频声源进行声音合成的实例介绍。

目前,数字音频声源被大量地应用于商业声音合成系统中,大有取代电子振荡声源之势,如各种软硬件采样器;甚至目前许多合成器也只是一个不能采样的,使用数字音频声源,通过减法合成方法进行声音制作的硬件系统而已。近年来,使用电子振荡声源进行声音合成的比例有所回升,但仍远远低于数字音频声源。至于下面要介绍的实时音频声源在声音合成中的应用就更少了。

3. 实时音频

通过实时音频声源进行声音合成的原则与采用数字音频声源一样,都是将模拟声音变成合成系统可以识别的电子声音。不同之处在于当采用实时音频声源进行声音合成时,系统必须实时地将模拟声音信号转换成电子声音,这对系统的要求比较复杂,也比较高。因此采用实时音频作为声源进行声音合成的软硬件系统是最少的。本书中声音合成例题所依托的硬件 Nord Modular 支持实时音频声源,见图 2.1.10 Nord Modular 实时音频模块:

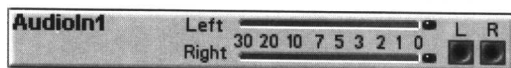


图 2.1.10 Nord Modular 实时音频模块

如图 2.1.10 所示,模块 AudioIn(音频入)支持左(Left)右(Right)两个通道的信号输入,并可以分别从左(L)右(R)两个输出端子(红色方形输出端子)将信号送出。

因为实时音频的声音大多数是自然乐器声音,所以同样不能采用那些需要简单声音元素的声音算法来进行声音合成。

至此,我们已经知道通过哪些途径和利用哪些工具可以完成获得静态声谱的第一个步骤——获得声源。所得声音的声谱有时就是我们的目的声谱,而有时只是接近我们的目的声谱,因此为了最终获得静态声谱,我们还需要对该声谱进行修饰。

思考题:

- 一. 根据傅立叶理论,简述声音合成的含义。
- 二. 声音合成的准备工作有哪些?试分析其目的与作用。
- 三. 试分析区分主振荡器与属振荡器的目的与作用。
- 四. 对于声音合成来说,主要声源有哪几类?目前商业应用最广泛的声源是什么?

练习题:

绘制各种振荡器的图形符号。

第2讲 静态声谱的修饰

在电子合成声音过程中，当获得的静态声谱与目的声谱有一定的距离，或者目的声谱随不同因素需要变化时^①，需要我们对已经获得的基础声谱进行进一步修饰。修饰声谱的工具很多，这里我们主要介绍一下在声音合成与制作，修饰声谱过程中最常使用的工具——滤波器(Filter)。

一、滤波器类型

所谓滤波，就是根据需要，将所选定的声谱中的特定成份去除或保留的过程。让我们先分析一下需要处理的声谱中特定频率成份的范围类型。

1. 频率成份的分类

根据所需处理频率成份的范围大小，我们将其分为频率段和频率带两种：

A. 频率段

最常见的情况就是我们需要对声谱中某一段频率进行处理，如果我们将频率分为高频段和低频段的话，我们在对它们进行滤波处理时，不外乎去掉高频段保留低频段，或者是去掉低频段保留高频段两种情况。见图 2.2.01 频率段的滤波情况示意图：

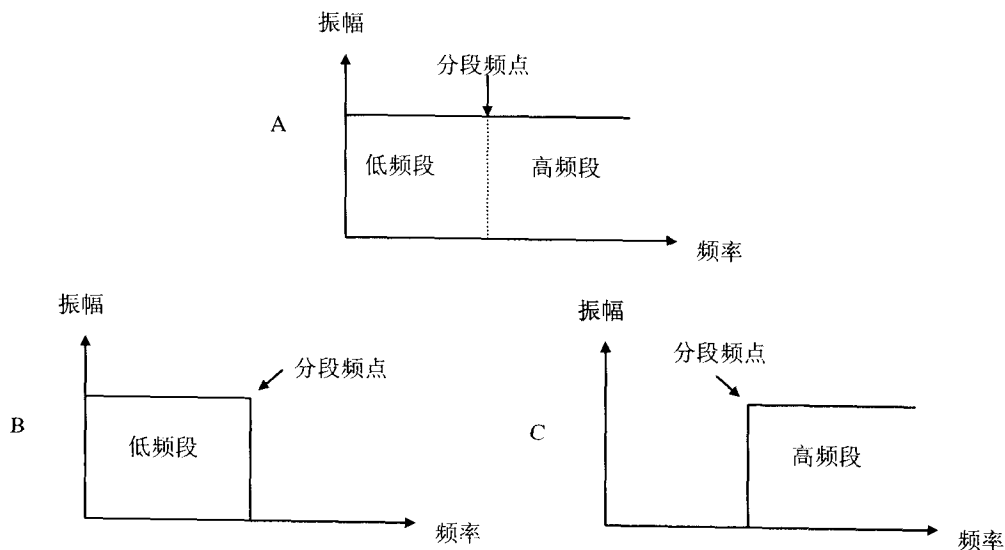


图 2.2.01 频率段的滤波情况示意图

图 2.2.01A 为原始声谱包络示意图，高频段与低频段用虚线隔开；图 2.2.01B 为去掉

^① 参加本章第3讲至第5讲有关获得动态声谱方面的内容。

高频段保留低频段时的示意图，分段频点以上的频率都被截去；图 2.2.01C 为相反情况，去掉低频段保留高频段时的示意图，分段频点以下的频率都被截去了。

决定截取从哪里开始的分段频点有一个专有名称，叫做截止频点，该频点的频率值叫做截止频率(Cutoff Frequency)，这一概念将被广泛地应用于滤波器当中。

B. 频率带

当我们需要处理的频率成份范围不像频段那样大，而仅仅是某个频率带时，在对该频率带进行滤波处理时，不外乎保留该频率带和去除该频率带两种情况。见图 2.2.02 频率带的滤波情况示意图：

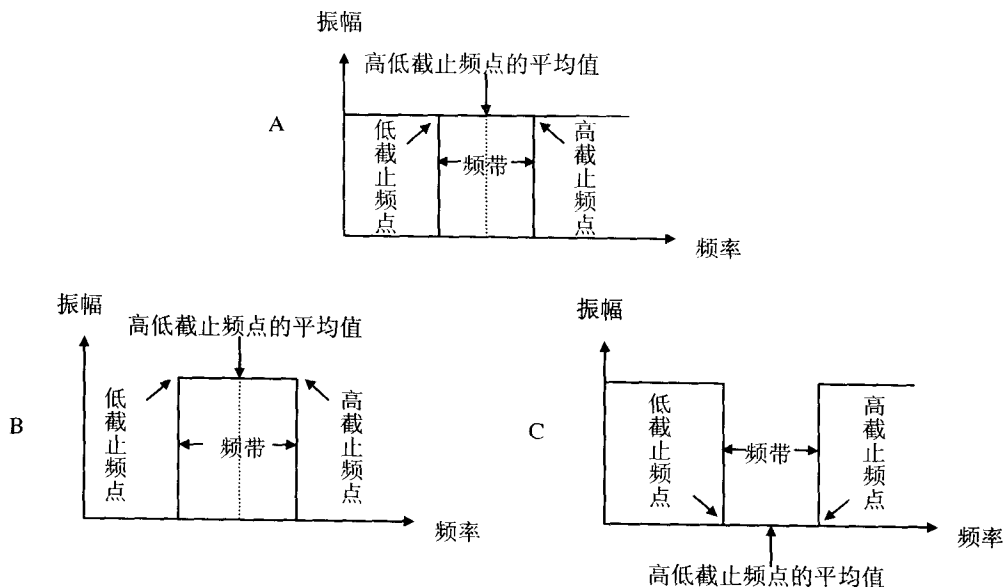


图 2.2.02 频率带的滤波情况示意图

图 2.2.02A 所示为由低截止频点至高截止频点的频率带，简称频带(Band)。其中，虚线所示为位置是两截止频率平均值的频点；图 2.2.02B 所示为截去比低截止频点低，比高截止频点高，保留频带内容的滤波情况示意图；图 2.2.02C 所示为保留比低截止频点低和比高截止频点高的频率，截去频带内容的滤波情况示意图。

当我们描述一个频段时，一旦获得了截止频率，我们就可以清晰地描述与分辨哪部分是高频段，哪部分是低频段。在描述频带的时候，为了更方便地描述频带的滤波情况，我们还需要引入两个基本概念，一个是 BW(带宽 Bandwidth 的缩写)——我们称某频带低截止频率点至高截止频率点的距离叫做该频带的带宽，具体而言，带宽等于高截止频点与低截止频点的差；另一个概念是中央频率(Center Frequency)——位于低截止频率点与高截止频率点中间的，两频点平均值所在的频点叫做中央频点，其频率叫做中央频率。

由上，滤波器需要处理的频率内容有两类，频段和频带，处理类型不外乎滤除高频段、滤除低频段、滤除频带以外内容和滤除频带这四种情况。正是根据这四种情况，人们规定

了常用的两类，共四种滤波器。

2. 滤波器的类型

常用的滤波器有四种类型，它们分别是低通滤波器(Low Pass Filter)、高通滤波器(High Pass Filter)、带通滤波器(Band Pass Filter)和带除滤波器(Band Eliminate Filter 或 Band Reject Filter)。

低通滤波器：滤除高频段的内容，让低频段内容通过(保留)的滤波器叫做低通滤波器(图 2.2.03A)。

高通滤波器：滤除低频段的内容，让高频段内容通过(保留)的滤波器叫做高通滤波器(图 2.2.03B)。

带通滤波器：滤除频带之外的内容，让频带内容通过(保留)的滤波器叫做带通滤波器(图 2.2.03C)。

带除滤波器：滤除频带内容，让频带之外内容通过(保留)的滤波器叫做带除滤波器(图 2.2.03D)。

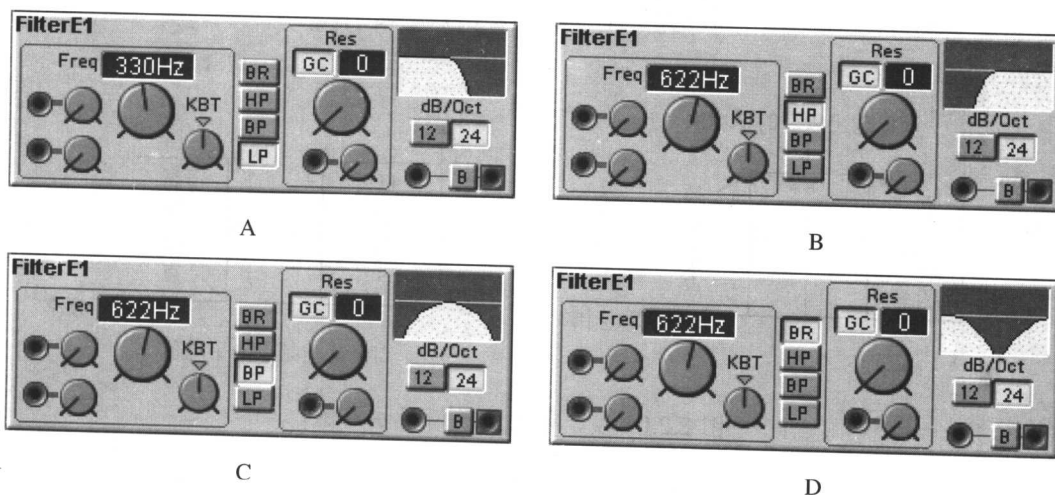


图 2.2.03 Nord Modular 滤波器

图 2.2.03 所示为 Nord Modular 中的一种滤波器，名称为 FilterE (滤波器 E)。图中 A、B、C、D 分别表示按下 LP(Low Pass)、HP(High Pass)、BP(Band Pass)、BR(Band Reject) 按钮的滤波器 E 的滤波器功能状态为低通滤波器、高通滤波器、带通滤波器和带除滤波器。

有关这滤波器的图形符号表示方法，我们将在进一步了解了滤波器的参数控制之后进行介绍。

在图 2.2.01 和 2.2.02 中，无论是对频率段还是频率带进行滤波处理，都是采用一刀切的截除办法。也就是说，被滤除部分将一点不留地被干净地滤掉。从理论上说可以这样，实践中往往不需要这种一刀切似的滤除效果，这就需要对滤波器的参数进行进一步的控制。

二、滤波器的控制

除了可以控制滤波器的截止频率、带宽、中央频率等参数，选择需要滤除的频率成份外，还可以控制滤波器的斜率以及 Q 值等参数，以获得所需的滤波效果。

1. 斜率

一般情况下，我们采用被滤波器处理的频率成份振幅，随着频率的增加逐渐衰减的方法，替代一刀切式的滤除办法。滤波器中被处理频率成份的振幅，随频率的增加衰减的速率叫做滤波器的斜率(Slop)。斜率的计量单位是：分贝(dB)/八度(Octave)。让我们以低通滤波器为例，看一看采用不同斜率的低通滤波器的衰减曲线及作用。见图 2.2.04 不同斜率的低通滤波器衰减曲线示意图：

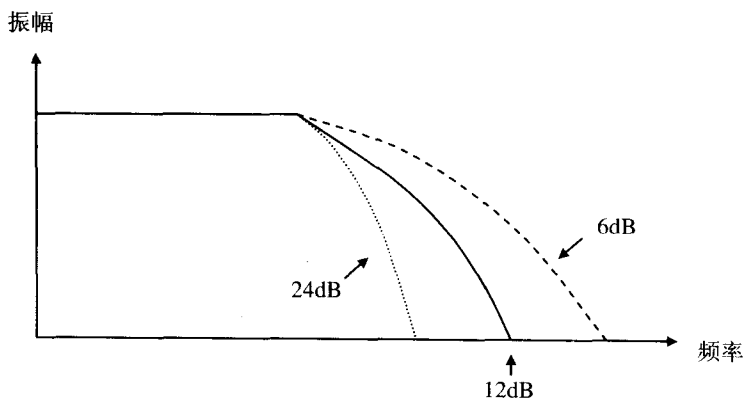


图 2.2.04 不同斜率的低通滤波器衰减曲线示意图

图 2.2.04 中，实线表示的是斜率为 12 分贝的低通滤波器衰减曲线示意图；短虚线和长虚线表示的分别为斜率 24 分贝和 6 分贝的低通滤波器衰减曲线示意图。由各曲线下所占面积可以看出，随着斜率的增加，曲线下所占面积就越小，意味着结果声谱中高频成份所占的声学能量就越小。体现在声音制作中，当我们采用低斜率时，结果声音比采用高斜率时明亮得多。

大部分滤波器都采用斜率来控制其衰减速率，那么与一刀切式的滤波器相比，其衰减曲线情况见图 2.2.05 采用斜率的滤波器衰减曲线示意图：

图 2.2.05 中，图左所示为各种滤波器的原理示意图，图右为采用了斜率的各种滤波器衰减曲线示意图。通过比较可以看出，无论是低通、高通滤波器还是带通、带除滤波器，采用斜率之后就没有一刀切地将滤除部分完全去除，而是都保留了一部分。当然，被保留部分所占的声学能量是按照斜率相应衰减的。

通过控制滤波器的斜率，我们就可以获得比较自然的滤波效果。下面让我们看看对滤波器另一重要参数的控制——滤波器的 Q 值。

2. Q 值

Q 值等于中央频率与带宽之比，具体公式如下：

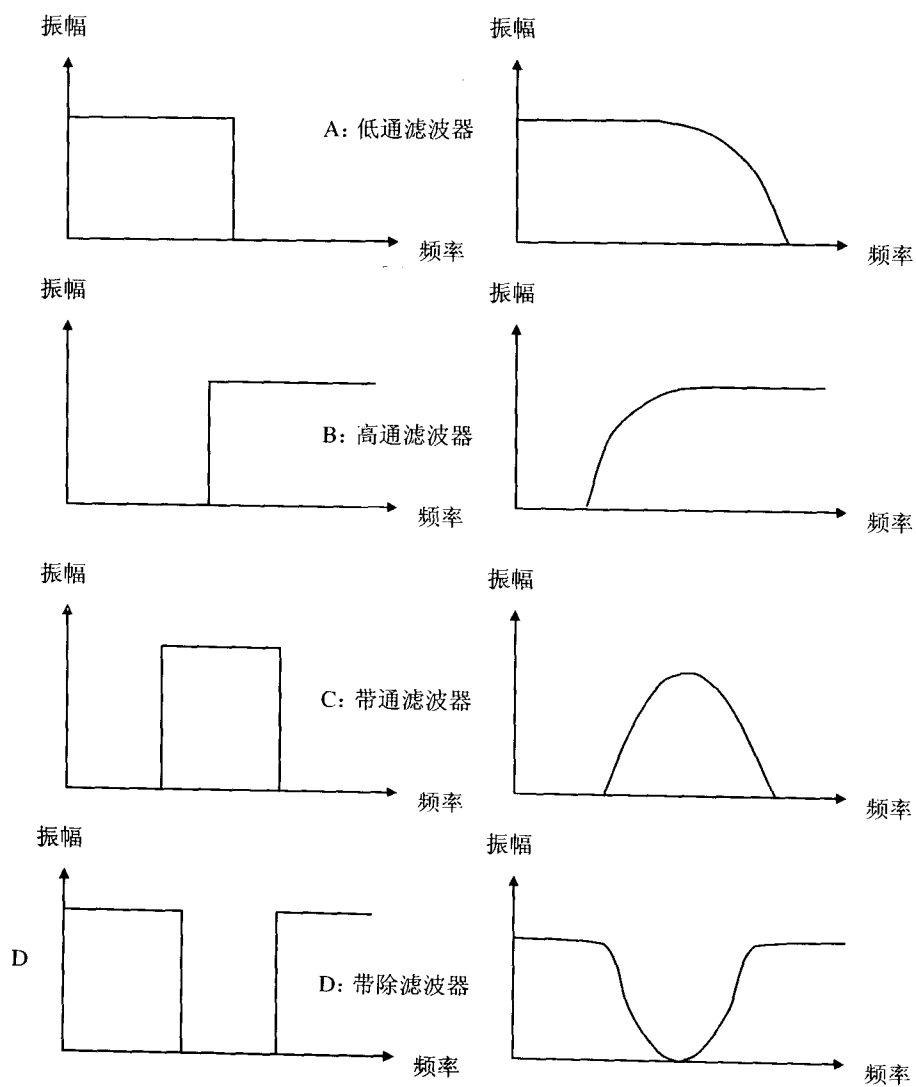


图 2.2.05 采用斜率的滤波器衰减曲线示意图

$$Q = \frac{f_c}{BW}$$

其中, f_c 表示中央频率、 BW 表示带宽。见图 2.2.06 不同 Q 值的低通滤波器衰减曲线示意图:

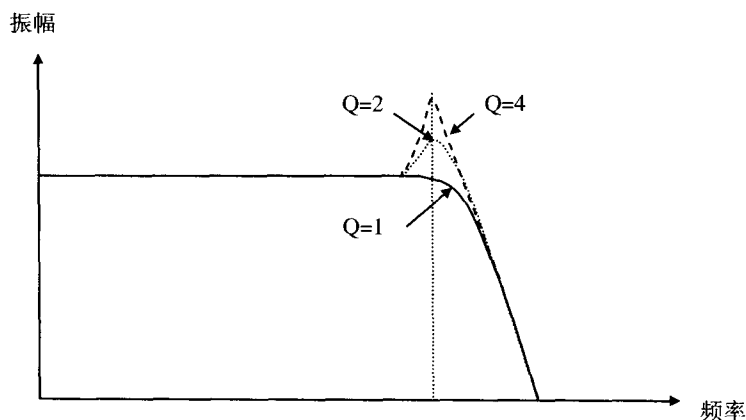


图 2.2.06 不同 Q 值的低通滤波器衰减曲线示意图

图 2.2.06 中实线、短虚线和长虚线代表的分别是 Q 值等于 1、2 和 4 时，低通滤波器衰减曲线的示意图。由图可见，Q 值越大，带宽就越小。如果无限制地增大 Q 值，理论上可以使滤波器的作用集中在中央频率上^①。

在 Nord Modular 中，模拟 Q 值的控制是通过将滤波器的输出端的信号送入该滤波器的输入端，形成反馈回路^②，使中央频率产生共振(Resonance)。改变回授的大小，可以控制共振的大小，从而模拟滤波器的 Q 值变化。见图 2.2.07 Nord Modular 不同共振值的低通滤波器：

图 2.2.07 所示为 Nord Modular 中的滤波器 E，Res(Resonance)旋钮的取值分别为 0、64 和 127 时的低通滤波器状态。由图中每个状态的滤波器右上角的衰减曲线显示窗中可以观察到，随着共振值的增大衰减曲线的变化。当共振值大到一定程度时，经过滤波器处理后的结果声音，给我们的感受不是滤除了什么，反而是加上了一些声音的感觉^③。

在声音合成实践中，我们根据实际需要，选择适宜的，四种常用滤波器中的某一种滤波器，然后通过调整其斜率、共振等参数，达到所需的滤波目的。例如：假设我们通过减法合成方法，利用高频能量很多的锯齿波或方波合成电贝司音色时，就需要将原始波形经过低通滤波器的处理，滤掉不必要的高频内容，从而获得圆润的低音贝司音色。

以上介绍的几种常用滤波器被广泛地应用于声音合成中，有关各种常用滤波器的具体应用方法，我们将在后面的章节中通过实践来了解。

① 这时可以将该滤波器当作一个频率为中央频率的振荡器来使用。

② 该回路不用专门搭建，滤波器中内建了该部分功能。

③ 著名的“哇音”效果就是根据这一原理，通过有规则地改变共振值很大的滤波器的截止频率得到的。

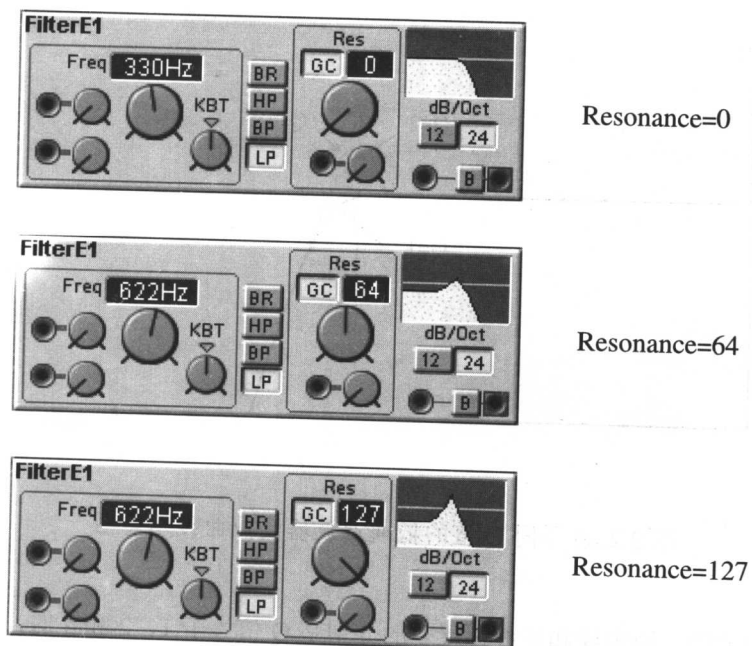


图 2.2.07 Nord Modular 不同共振值的低通滤波器

三、滤波器的图形符号表示方法

一般情况下，本书采用以下图形符号来表示滤波器，见图 2.2.08 滤波器的符号表示方法：

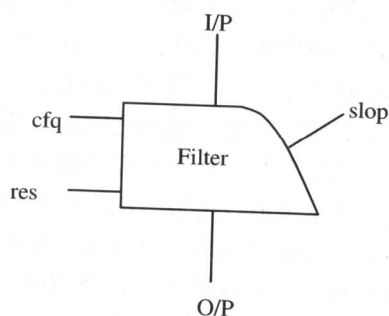


图 2.2.08 滤波器

图 2.2.08 采用滤波器中最常见低通滤波器的衰减曲线为主要图形表示该模块为一个滤波器模块，图中央的文字 Filter(滤波器)可以用具体名称如 LP(Low Pass)代替，表示该滤波器的类型为低通滤波器。其中各种参数的含义如下：I/P(Input)为该模块的信号输入端子；O/P(Output)为该模块的信号输出端子；参数 cfq(Cutoff Frequency)表示截止频率；参数

res(Resonance)代表共振值；参数 slop 表示滤波器的衰减斜率。

通过滤波器对声音信号进行滤波的流程如下，见图 2.2.09 滤波器应用流程图：

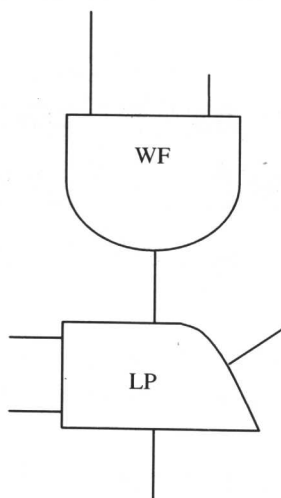


图 2.2.09 滤波器应用流程图

如图 2.2.09 所示，振荡器的输出端被送入低通滤波器的输入端，结果波形的高频将被滤掉。滤波器在实践中的应用见图 2.2.10 Nord Modular 滤波器应用示意图：

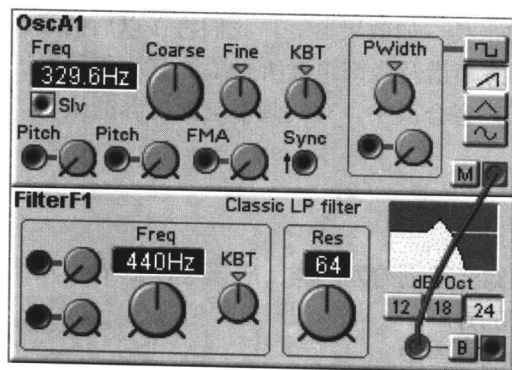


图 2.2.10 Nord Modular 滤波器应用示意图

如图 2.2.10 所示，产生锯齿波的振荡器 OscA1 的音频输出(红色方形输出端子)与滤波器 FilterF1 的输入端(红色圆形输入端子)相连接，按照滤波器的参数设置，将以 440Hz(显示窗 Freq)为截止频率，24 分贝/八度(灰色方形按钮)的斜率，滤除锯齿波声谱中的高频能量，并按照大小为 64(显示窗 Res)的共振值产生共振。

四、专门化的滤波器

滤波器不仅是声音合成中必不可少的工具，除此之外，还被广泛地应用于其它相关方面如电声处理等领域中。由于各个领域的目的、方式方法各不相同，因此形成了一些专门

完成某些任务的滤波器，如我们下面要介绍的人声滤波器。

人声滤波器是一种具有特殊功能的专门化滤波器。通过内建的滤波器组，它可以模仿出入声发出的基本元音效果。见图 2.2.11 Nord Modular 人声滤波器：

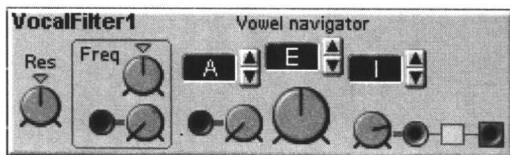


图 2.2.11 Nord Modular 人声滤波器

图 2.2.11 所示的人声滤波器可以模仿人声发出的基本元音效果，如 A、E、I、O、U、Y、AA、AE、OE。改变 Vowel navigator(元音导航)中的元音排列顺序，可以模仿出简单的语言效果。

另外，在电声处理领域广泛使用的均衡器就是另一种专门化的滤波器。由于在声音合成领域中，一般情况下不将其直接用于对简单波形的滤波，而是采用低通、高通、带通和带除这四种基本滤波器中的一种。均衡器的作用往往是在完成基本的音色合成后对声音进行进一步修饰，因此，我们将在本章第 6 讲中具体介绍均衡器的类型。

由上，常用滤波器共有两类，段滤波器和带滤波器，具体形式有四种：低通滤波器、高通滤波器、带通滤波器和带除滤波器。一些特殊滤波器在声音合成中也发挥着重要的作用。至于其它修饰声谱的工具，如效果器等，我们将在以后的章节中以实践的方式介绍。

至此，我们对获得静态声谱及修饰声谱所采用的方法和基本工具——振荡器和滤波器有了一定的了解，完成了声音合成中，有关频率层面内容的认识。下面让我们进入到声音合成制作的其它层面。

思考题：

- 一. 如果需要将四种常用滤波器划分为两类，应该是什么？
- 二. 试比较四种常用滤器的异同。
- 三. 简述滤波器斜率的目的与作用。
- 四. 什么情况下可以将滤波器当作振荡器使用？

练习题：

绘制各种滤波器的图形符号。

第3讲 获得动态声谱的内容与工具

本讲中，我们将关注获得动态声谱的含义、内容及主要工具。

音色在发声的过程中，其声波的振动模式、力度、音高以及声谱内容等各方面因素都是动态变化着的^①。从理论上说，获得动态声谱应该包含上述所有的内容。但是从实践上讲，获得动态声谱的内容有哪些，通过什么样的工具可以达到哪些目的呢？让我们先看一看这里所说的获得动态声谱的内容含义。

一、内容

声波的振动模式已经是对音色的整合描述，其包含了静态声谱内容、动态的力度、音高及声谱内容的变化。目前，“波形塑型”(Wave Shaping)是通过单一的工具或方法，直接获得声波的振动模式的合成方法，我们将在本书第六章第4讲第二节中进行介绍。

音色的音高变化包括结构性音高变化和装饰性音高变化，有关音色的装饰性音高变化，我们将在本章第6讲，有关“后音色修饰”的内容中介绍。因此，这里获得动态声谱所指的内容主要包括音色的力度、结构性音高变化和声谱内容的变化。

音色力度与声谱内容的动态变化主要取决于时间因素，当然也取决于演奏的力度、音高等其它因素。接下来几讲将主要讨论时间、演奏力度和音高因素对动态声谱的影响，以及如何控制这些因素从而获得动态声谱的方法。

在具体了解获得动态声谱的方法之前，让我们了解一下获得动态的音色力度变化和动态声谱内容变化的主要工具——包络发生器。

二、包络发生器

包络发生器(Envelope Generator)是一个以横坐标时间轴为标尺，按照要求产生纵坐标参数值的数值发生器。在声音合成领域，当处理与时间轴相关的变量时，一般会涉及到包络发生器这个工具。

1. 包络发生器的类型

根据包络发生器的作用，我们将它们分为三类：标准包络发生器、参数包络发生器和特殊包络发生器。

A. 标准包络发生器

标准包络发生器是指可以按照标准的 ADSR 四个阶段产生相应数值的包络发生器。见图 2.3.01 Nord Modular ADSR 包络发生器：

图 2.3.01 所示是一个标准的名称为 ADSR-Env 的包含 ADSR 四个阶段的包络发生器。通过调节旋钮 A(Attack)、D(Decay)和 R(Release)可以改变触发、衰减和释放阶段的时间；调节旋钮 S(Sustain)可以控制延留阶段的纵坐标取值。

^① 见第一章第2讲和第3讲，有关“动态的音色”方面的内容

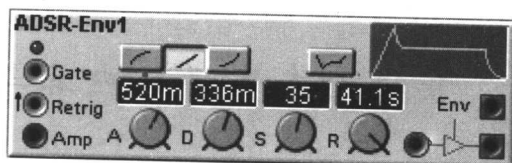


图 2.3.01 Nord Modular ADSR 包络发生器

B. 参数包络发生器

参数包络发生器是指可以分别自由地控制各包络阶段参数的包络发生器。见图 2.3.02 Nord Modular 参数包络发生器：

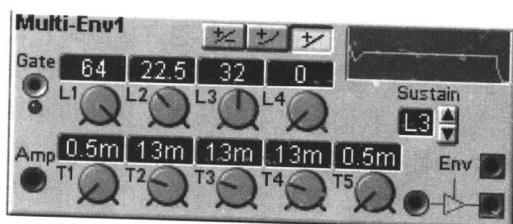


图 2.3.02 Nord Modular 参数包络发生器

图 2.3.02 所示是一具有五段时间和四段取值调节能力的参数包络发生器。旋钮 T(Time)1 至 T5 用于调节各阶段的时间长度；旋钮 L(Level)1 至 L4 用来调节各阶段的取值大小。

C. 特殊包络发生器

顾名思义,特殊包络发生器是指那些具有某些特殊功能的包络发生器,如 Nord Modular 中的包络跟踪器,见图 2.3.03 Nord Modular 包络跟踪器：



图 2.3.03 Nord Modular 包络跟踪器

图 2.3.03 所示名称为 EnvFollower 的特殊包络发生器是一个包络跟踪器,它可以从一个已知的音频信号中,分析出该信号的包络数据,并将分析结果输出给其它声音合成模块使用。旋钮 Atk(Attack)和 Rel(Release)分别是用来控制跟踪信号的触发和释放时间的。

2. 包络发生器的图形符号表示方法

本书中采用以下符号表示包络发生器,见图 2.3.04 包络发生器：

图 2.3.04 中以常见的 ADSR 包络曲线为主要图形表示该模块为包络发生器模块。图中央的文字 Env 是包络 Envelope 的缩写,可以用具体的包络类型名称代替,如 ADSR,则表示该模块为一个标准的 ADSR 包络发生器。各个参数的含义如下: I/P(Input)是该模块的信

号输入端; O/P(Output)是该模块的信号输出端; 参数 A(Attack)表示触发时间; 参数 D(Decay)表示衰减时间; 参数 S(Sustain)表示延留阶段的取值; 参数 R(Release)表示释放时间。

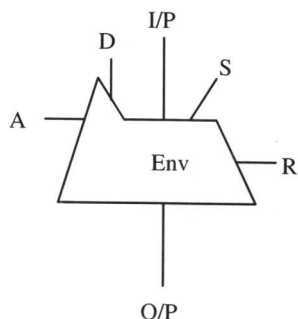


图 2.3.04 包络发生器

有一点值得提醒大家注意，包络发生器输出的只是一串数据，在包络发生器没有和其它声音合成模块连接之前，这些数据并没有特定的含义。因此，我们前文中介绍包络发生器时，没有直接称那些包络发生器产生的数值是振幅值、频率值，而是用了统称——取值。包络发生器产生的数据究竟代表什么含义取决于输入到包络发生器输入端的信号类型。

包络发生器是处理与时间相关的声谱变化时使用的主要工具，下面让我们看看获得音色动态音高变化的主要工具——低频振荡器。

三、低频振荡器

LFO(Low Frequency Oscillator)——低频振荡器是能够产生超低频振荡信号的特殊振荡器。由于大多数低频振荡器产生的信号在听阈之外，因此其主要目的不是获取声源，而是控制作用。

1. 低频振荡器的类型

根据低频振荡器的功能，我们将低频振荡器分为标准低频振荡器和特殊低频振荡器两种类型。

A. 标准低频振荡器

标准低频振荡器的功能基本与普通振荡器相同，可以按照要求产生超低频的各种常用波形。见图 2.3.05 Nord Modular 标准低频振荡器：



图 2.3.05 Nord Modular 标准低频振荡器

图 2.3.05 所示标准低频振荡器 LFOA 可以分别按照正弦波、三角波、锯齿波、倒锯齿波和方波的波形，产生超低频的信号。频率范围通过选择按钮 Hi(High=高)、Lo(Low=低)和 Sub(超低)从 392Hz 至 699 秒一次。

B. 特殊低频振荡器

能够按照特殊方式产生某些特殊信号的低频振荡器叫做特殊低频振荡器，见图 2.3.06 Nord Modular 特殊低频振荡器：

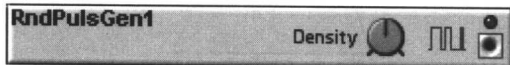


图 2.3.06 Nord Modular 特殊低频振荡器

图 2.3.06 所示为特殊低频振荡器的一种——随机脉冲信号发生器 RndPulsGen(Random Pulse Generator)。其可以按随机时间产生脉冲信号，并通过密度调节旋钮 Density 规定随机信号的频次范围。

由于低频振荡器是一种特殊的振荡器，因此在使用中，与主要目的是获取声源的振荡器一样，有主低频振荡器与属低频振荡器之分，这里就不再赘述。另外特殊低频振荡器还有时钟发生器、随机步进发生器等，由于篇幅所限，这里也就不一一详细介绍了。

2. 低频振荡器的图形符号表示方法

由于低频振荡器其实就是振荡器的一种，因此符号表示上基本与振荡器相同，见图 2.3.07 低频振荡器：

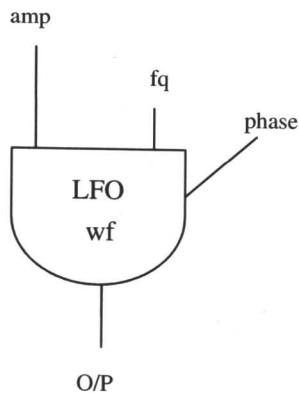


图 2.3.07 低频振荡器

由图 2.3.07 可见，低频振荡器的图形符号在基本参数与图形方面与前文介绍过的振荡器表示方法一致，唯一不同的是多出了可以控制波形开始位置的参数 phase(相位)^①。

^① 一般振荡器也都有相位参数，关于相位的基本概念请参阅相关专业书籍。本书第三章第 6 讲音色讨论建议中，有关于相位的实践应用介绍。

低频振荡器的作用不仅可以获得音色动态的音高变化，由于其主要作用是控制，因此最终效果要视受低频振荡器控制的信号类型，具体情况具体分析。

了解了获得动态声谱的内容以及工具之后，下面让我们具体了解如何通过包络发生器等工具获得动态声谱的方法：

思考题：

- 一. 简述包络发生器的主要类型以及包络发生器输出参量的属性。
- 二. 在声音合成中，包络发生器的主要作用是什么？
- 三. 试比较振荡器与低频振荡器的异同。
- 四. 在声音合成中，低频振荡器的主要作用是什么？

练习题：

绘制各种包络发生器和低频振荡器的图形符号。

第4讲 获得音色动态的力度及音高变化

本讲中，我们将了解通过哪些方法可以获得音色动态的力度和音高变化。

一、获得动态的音色力度变化

所谓动态的音色力度变化就是音色的力度响应随各种因素的变化而变化。所谓获得动态的音色力度变化就是掌握音色力度随各种因素的变化规律，并通过各种工具，使音色力度可以跟随这些因素变化的过程。

1. 随时间因素改变音色力度

在本书第一章第2、3讲，动态的音色中，我们已经清楚地知道，音色随时间的力度变化对音色的感知有着极其重要的影响。随时间因素改变音色力度的实际含义就是获得正确的音色随时间的力度响应。在获得音色的静态声谱之后，随时间改变音色力度是获得正确音色感知的必要条件，通常在实践操作中是完成了静态声谱的合成以后，首先要完成的工作^①。其原理流程见图2.4.01 随时间因素改变音色力度流程图：

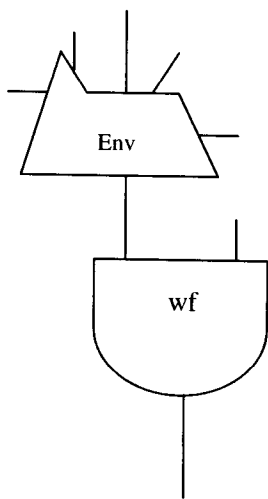


图 2.4.01 随时间因素改变音色力度流程图

原理上如图2.4.01所示，振荡器的振幅参数受包络发生器控制，振幅的大小将按照包络发生器的参数规定变化；实际操作中略有一些不同，见图2.4.02 Nord Modular 随时间改变音色力度模块连接示意图：

由于 Nord Modular 中没有将振荡器的振幅设计为可变量，因此在随时间改变音色力度的操作中与理论流程不同，取而代之的是将振荡器的输出信号送入了包络发生器的输入

① 实践中也可以将该步骤提前到声谱修饰之前，这样获得的初步音色感知对进一步音色合成有提示作用。

端,得到的结果与理论流程相同。如图 2.4.02 所示,振荡器 OscA1 的输出信号(红色方形输出端子)与包络发生器 ADSR-Env1 的信号输入端子(红色圆形输入端子)相连接,表明振荡器的输出信号被送入到了包络发生器中。振荡器 OscA1 的振幅将按照包络发生器 ADSR-Env1 的参数变化,结果波形将由包络发生器(红色方形输出端子)输出。

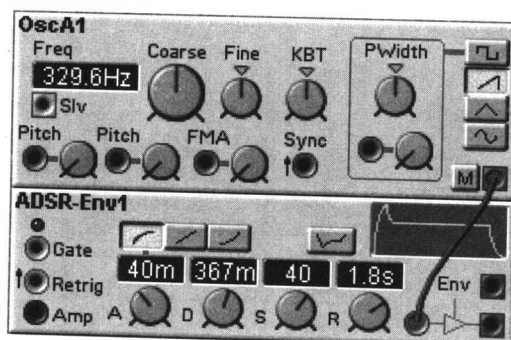


图 2.4.02 Nord Modular 随时间改变音色力度模块连接示意

2. 随其它因素改变音色力度

除时间因素外,其它影响音色力度变化的主要因素有演奏力度和音高因素。

A. 演奏力度

声音随着演奏力度的大小而变化是大部分乐器的自然属性,即使我们合成非自然音色,为了音色控制更加人性化,也同样有必要再现这一特征。

理论上,随演奏力度因素改变音色的力度响应就是设法让振荡器的振幅参数随输入力度的大小变化。见图 2.4.03 随演奏力度因素改变音色力度流程图:

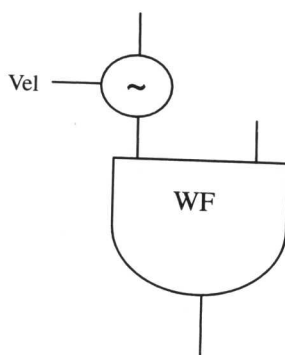


图 2.4.03 随演奏力度因素改变音色力度流程图

一般情况下,在声音合成流程图中,图形圆圈表示数学运算,具体的运算操作以文字符号形式标于圆圈中。如加、减、乘、除运算分别用“+”、“-”、“*”和“/”来表示。本

书中采用符号“~”表示按比例运算，其参数用文字标出。如图 2.4.03 所示，振荡器的振幅将按参数 Vel(Velocity)——演奏力度的大小而成比例地变化。

实践中各软硬件系统略有不同，以 Nord Modular 为例，由前文我们知道，Nord Modular 中的振荡器模块没有设计振幅参数，因此与实现动态的、随时间变化的音色力度相似，音色的力度响应随演奏力度的变化也是借助包络发生器实现的。见图 2.4.04 Nord Modular 随演奏力度因素改变音色力度示意图：

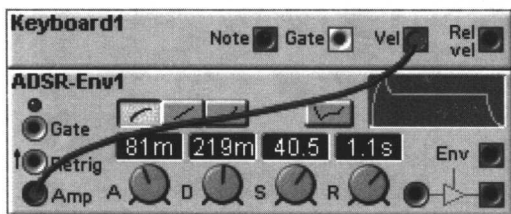


图 2.4.04 Nord Modular 随演奏力度因素改变音色力度示意图

图 2.4.04 中键盘输入模块 Keyboard1 的 Vel(Velocity)输出(蓝色方形输出端子)的信号，送入了包络发生器模块 ADSR-Env1 的振幅输入 Amp(Amplitude)端口(蓝色圆形输入端子)。这表明包络发生器的结果信号将参照演奏力度的大小而成比例地变化。

B. 演奏音高

在自然乐器音色中，音色力度随演奏音高的变化不像随演奏力度变化那样普遍，但在某些乐器中还是比较明显的。具体表现为当以同样力度演奏不同音高的音色时，该音色的力度响应随着音高的变化增大或减少。见图 2.4.05 随演奏音高改变音色力度流程图：

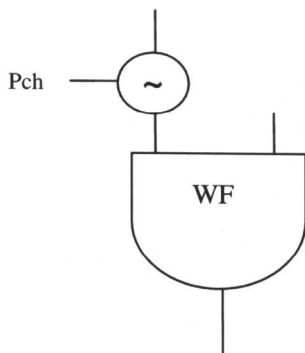


图 2.4.05 随演奏音高改变音色力度流程图

随演奏音高因素改变音色力度的工作原理与随演奏力度因素改变相同，不同的是参考变量从演奏力度变成了演奏音高。如图 2.4.05 所示，振荡器的振幅将随着参考变量 Pch(Pitch)——演奏音高的不同而成比例地变化。在使用 Nord Modular 作为声音合成的硬件载体，进

行声音合成实践操作中的情况与理论方法略有差异, 见图 2.4.06 Nord Modular 随演奏音高改变音色力度示意图:

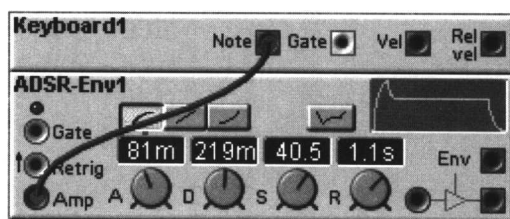


图 2.4.06 Nord Modular 随演奏音高改变音色力度示意图

图 2.4.06 中键盘输入模块 Keyboard1 的 Note(音符)输出(蓝色方形输出端子)的信号送入了包络发生器模块 ADSR-Env1 的振幅输入 Amp(Amplitude)端口(蓝色圆形输入端子)。这表明包络发生器的结果信号将参照演奏音高的高低而成比例地变化。

音色的力度响应除了随时间、演奏力度和音高变化以外, 还可以随其它演奏方式变化, 由于其对音色构成的作用不如前几种因素强烈, 对音色的影响属于“后音色修饰”, 因此我们将在本章第 6 讲中进行介绍。至于其它影响音色力度变化的因素, 由于篇幅所限就不赘述了, 大家在将来的声音合成实践中可以根据前文所述原理, 举一反三地归纳出相应的方法, 当然, 要注意具体问题具体分析的原则。

以上所述的内容都是单一因素情况下对音色力度变化的影响, 及如何获得这些变化的方法。组合因素对音色力度的影响也是普遍存在的。如我们在合成弦乐群音色时, 除了需要获得音色力度随时间的变化之外, 还需要根据演奏力度的大小改变音色振幅包络的触发时间, 使强力度演奏该音色时表现为有力的拉奏音色, 弱力度演奏时音色表现为温暖柔和的弦乐群音色。这种情况下就需要我们考虑时间和力度因素对音色力度的综合影响。关于组合因素对音色力度影响的内容, 我们将在以后的章节中以实践的方式加以介绍。

了解了获得动态音色力度变化的方法后, 让我们进入到声音合成获得动态声谱阶段中相对比较简单的部分——获得动态的音色音高变化。

二、获得音色动态的音高变化

音色中的音高变化按照其对音色感知的作用可以分为结构性高变化和装饰性音高变化; 按照其周期性可以分为周期性音高变化和非周期性音高变化。

1. 周期性

所谓周期性的音色音高变化是指音色的音高变化以某种形式固定重复的音色音高变化。一般我们采用通过低频振荡器, 控制发声振荡器频率的方法, 获得音色的周期性音高变化, 见图 2.4.07 获得音色周期性音高变化流程图:

如图 2.4.07 所示, 发声振荡器的频率受低频振荡器的控制, 按照低频振荡器产生信号的波形性质产生周期性的音高变化。实践中的连接方式见图 2.4.08 Nord Modular 获得音色周期性音高变化示意图:

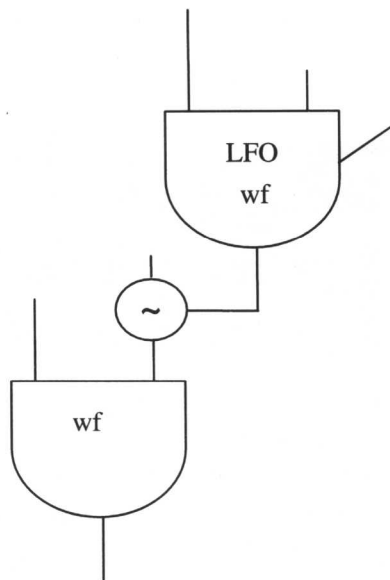


图 2.4.07 获得音色周期性音高变化流程图

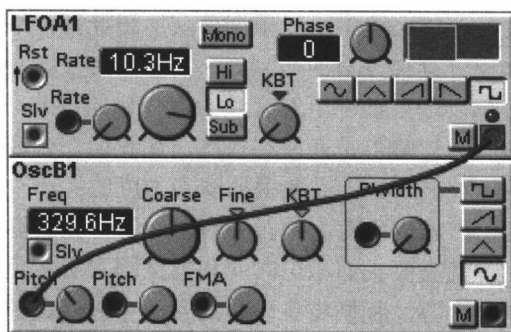


图 2.4.08 Nord Modular 获得音色周期性音高变化示意图

如图 2.4.08 所示，低频振荡器 LFOA1 的输出端(蓝色方形输出端子)与振荡器 OscB1 的音高调制输入端 Pitch(蓝色圆形输入端子左)相连接，表明发声振荡器 OscB1 的音高将按照低频振荡器 LFOA1 的参数设置产生周期性音高变化。就图 2.4.08 中低频振荡器的参数设置而言，由于低频振荡器的频率为 10.3Hz，选择的波形为方波，因此发声振荡器的音高将以每秒钟大约 10 次的频率，在两个音高之间不断重复变化。

2. 非周期性

获得音色非周期性音高变化的方法有很多，一般我们采用包络发生器控制振荡器频率参量的办法实现音色非周期性的音高变化，见图 2.4.09 获得音色非周期性音高变化流程图：

如图 2.4.09 所示，振荡器的频率将按照包络发生器规定的参数变化产生相应的音高变化。实践中的连接方式见图 2.4.10 Nord Modular 获得音色非周期性音高变化示意图：

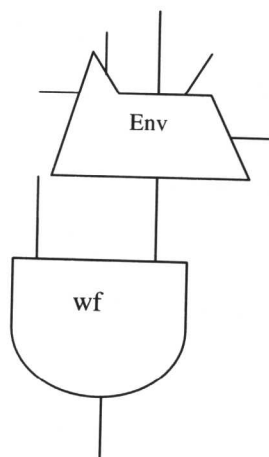


图 2.4.09 获得音色非周期性音高变化流程图

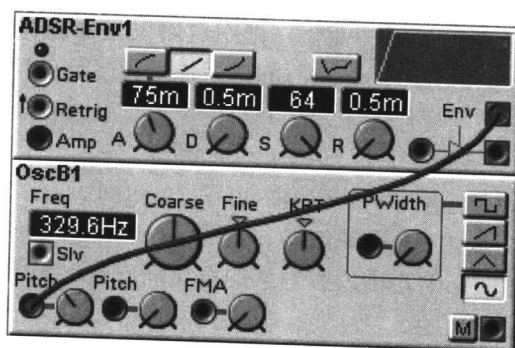


图 2.4.10 Nord Modular 获得音色非周期性音高变化示意图

如图 2.4.10 所示，包络发生器 ADSR-Env1 的输出端(蓝色方形输出端子)与振荡器 OscB1 的音高调制输入端 Pitch(蓝色圆形输入端子左)相连接，振荡器 OscB1 的音高将按照包络发生器 ADSR-Env1 规定的参数进行音高变化。就图 2.4.10 中包络发生器 ADSR-Env1 的具体参数而言，振荡器 OscB1 的音高将从起始音高滑向目的音高，耗时 75 毫秒。

了解了获得音色动态的音高变化方法后，让我们进入到声音合成获得动态声谱阶段中比较复杂的部分——获得动态的声谱内容变化。

思考题：

- 一. 音色的力度主要随哪些因素变化？
- 二. 获得音色力度随各种因素变化的理论方法与实际操作差异有哪些？
- 三. 通过包络发生器与低频振荡器，是获得音色音高随什么因素变化的方法？

练习题：

- 一. 绘制获得音色力度随各种因素变化主要方法的流程图。
- 二. 绘制获得音色音高随时间因素变化主要方法的流程图。

第5讲 获得音色动态的声谱内容变化

所谓动态的声谱内容变化就是音色的声谱内容随各种因素的变化而改变。其中包括声谱分音频率和分音振幅随各种因素的变化。所谓获得动态的声谱内容变化就是掌握声谱内容随各种因素的变化规律，并通过各种工具，使声谱内容可以跟随这些因素变化的过程。让我们先看看如何获得时间因素对声谱内容的影响。

一、随时间因素改变声谱内容

随时间因素改变声谱内容包括随时间因素改变分音频率和随时间因素改变分音振幅两方面内容。

1. 随时间因素改变分音频率

随时间因素改变分音频率的方法与获得音色动态音高变化的方法基本相同。一般采用低频振荡器获得分音频率的周期性变化，采用包络发生器获得分音频率的非周期性变化。对于绝大多数音色来说，分音频率随时间进行周期性变化的情况比较少，因此，包络发生器是获得分音频率随时间变化的主要工具。由于通过包络发生器获得音色音高变化的具体原理与操作方法我们已经介绍过，这里就不再赘述。

大部分自然音色在发声过程中，其声谱内容不是一成不变的。由本章第2讲的内容我们已经知道，修饰声谱的主要工具是滤波器，获得动态的声谱内容变化的另一种思路就是设法让滤波器的参数，跟随影响声谱内容因素的变化而变化。见图2.5.01随时间因素改变声谱内容流程图：

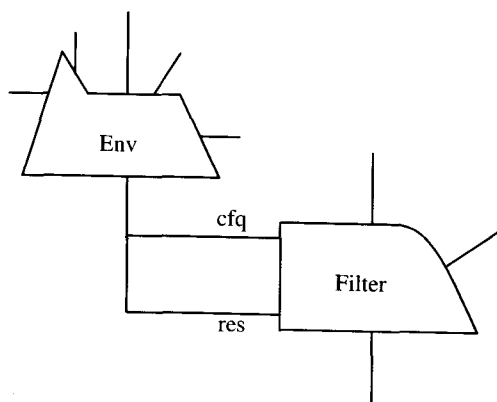


图 2.5.01 随时间因素改变声谱内容流程图

如图2.5.01所示，包络发生器的输出信号与滤波器的参数截止频率(cfq)和共振(res)相连接，使得滤波器的截止频率和共振参数随着包络发生器输出信号的变化而变化，从而达

到随时间改变声谱内容的目的^①。实际操作中亦是如此，见图 2.5.02 Nord Modular 随时间因素改变声谱内容示意图：

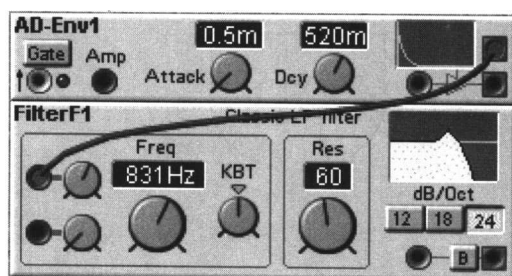


图 2.5.02 Nord Modular 随时间因素改变声谱内容示意图

如图 2.5.02 所示，只包含触发和衰减两个包络阶段的简单包络发生器 AD-Env1 的输出端(蓝色方形输出端子)与传统低通滤波器 FilterF1 的截止频率(Freq)调制输入端(蓝色圆形输入端子上)相连接，滤波器 FilterF1 的截止频率取值将受到包络发生器 AD-Env1 输出信号的影响，调制输入端旁边的旋钮可以调节包络发生器对滤波器截止频率的影响度。

2. 随时间因素改变分音振幅

随时间因素改变分音振幅的方法基本与随时间因素改变音色力度相同，主要也是通过包络发生器作用于振荡器的振幅参量。区别在于前者是作用于每个分音振荡器，而后者是作用在整个声音信号上的。由于具体操作方法前面已经介绍过，这里就不再赘述。

根据不同声音合成算法，获得声谱内容随时间变化的方法不尽相同，但大都需要借助包络发生器和低频振荡器等与时间相关的信号发生器来实现。不同声音合成算法中获得声谱内容随时间变化的具体方法，我们将在以后的章节中以实践的方式介绍。

二、随演奏力度改变声谱内容

随演奏力度改变声谱内容主要包括随演奏力度改变分音频率和随演奏力度改变分音振幅两个方面。

1. 随演奏力度改变分音频率

随演奏力度改变分音频率与获得音色力度随演奏力度变化的基本原理很相像，都是直接通过变化因素对振荡器参数施加调制影响。具体做法就是让振荡器的频率参数随演奏力度发生变化，见图 2.5.03 通过振荡器随演奏力度改变分音频率流程图：

如图 2.5.03 所示，振荡器的频率参数受演奏力度 vel 的调制，随演奏力度的大小成比例地变化。实践中的操作方法与理论上相同，见图 2.5.04 Nord Modular：通过振荡器随演奏力度改变分音频率示意图：

^① 图 2.5.01 中，通过一个包络发生器控制滤波器多个参数是获得动态声谱内容的特殊形式。实际上可以根据需要只改变滤波器的某一项参数，如果需要改变多个参数的话，往往每个参数使用不同的包络发生器。这里，为了简化图形，采用了单个包络发生器控制多个参数的连接方式。

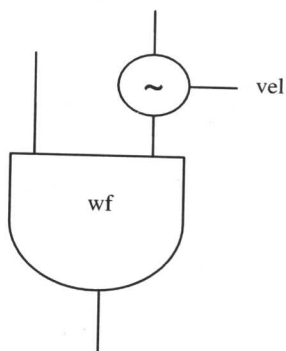


图 2.5.03 通过振荡器随演奏力度改变分音频率流程图

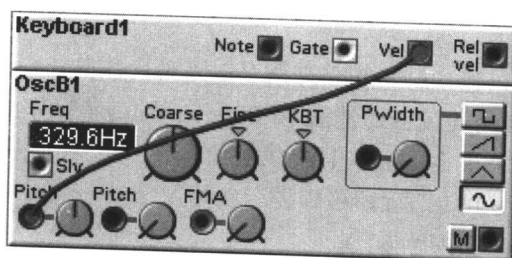


图 2.5.04 Nord Modular 通过振荡器随演奏力度改变分音频率示意图

如图 2.5.04 所示，键盘输入模块 Keyboard 的 Vel 输出端(蓝色方形控制输出端子)，与主振荡器模块 OscB 左边 Pitch 输入端(蓝色圆形控制输入端子)相连，表明振荡器 OscB 的频率将受到从音高调制输入的，键盘输入模块 Keyboard 采集到的演奏力度信息的影响，随着演奏力度的大小成比例地变化。

与随时间改变声谱内容的情况相同，实现分音频率随演奏力度变化的另一种思路就是：我们只要设法使滤波器的参数按照演奏力度成比例地改变即可实现随演奏力度因素变化的分音频率。见图 2.5.05 通过滤波器随演奏力度改变分音频率流程图：

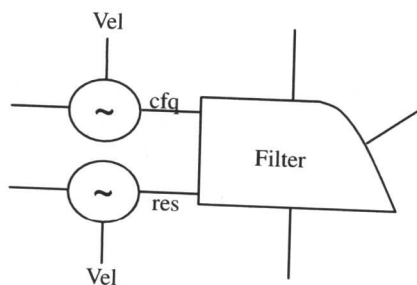


图 2.5.05 通过滤波器随演奏力度改变分音频率流程图

如图 2.5.05 所示, 滤波器的参数截止频率(cfq)与共振(res)将按照输入力度(Vel)成比例地变化, 由此实现声谱内容随演奏力度的变化。实际操作见图 2.5.06 Nord Modular 通过滤波器随演奏力度改变分音频率示意图:

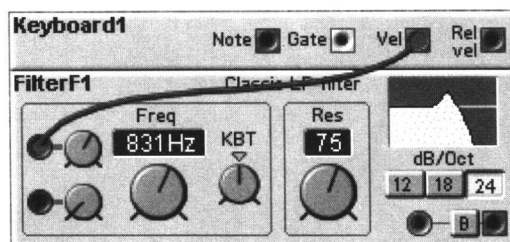


图 2.5.06 Nord Modular 通过滤波器随力度因素改变声谱内容示意图

如图 2.5.06 所示, 键盘输入模块 Keyboard1 的演奏力度输出端(蓝色方形输出端子)Vel 与传统低通滤波器 FilterF1 的截止频率(Freq)调制输入端(蓝色圆形输入端子)相连接, 滤波器 FilterF1 的截止频率参数将按照输入模块 Keyboard1 捕获的演奏力度成比例地变化。

2. 随演奏力度改变分音振幅

随演奏力度改变分音振幅的方法与随演奏力度改变音色力度的方法相同, 主要是通过演奏力度因素影响振荡器的振幅参量。所不同的是前者是针对分音振荡器施加的演奏力度影响, 而后者是针对整个声音信号进行作用的。有关的操作原理与方法我们在前面已经有详细的介绍, 这里就不赘述了。

根据不同声音合成算法, 获得声谱内容随演奏力度变化的方法不尽相同, 但大都需要能够采集演奏力度的软硬件器材。不同声音合成算法中获得声谱内容随演奏力度变化的具体方法, 我们将在以后的章节中以实践的方式加以介绍。

三、随演奏音高改变声谱内容

随演奏音高改变声谱内容主要也包括两方面内容: 随演奏音高改变分音频率和随演奏音高改变分音振幅。

1. 随演奏音高改变分音频率

随演奏音高改变分音频率与获得分音频率随演奏力度变化的基本原理很相像, 都是直接通过变化因素对振荡器参数施加调制影响。具体做法就是让振荡器的频率参数随演奏音高发生变化, 见图 2.5.07 通过振荡器随演奏音高改变分音频率流程图:

如图 2.5.07 所示, 振荡器的频率参数受演奏音高 pch 的调制, 随演奏音高的大小成比例地变化。实践中的操作方法与理论上相同, 见图 2.5.08 Nord Modular 通过振荡器随演奏力度改变分音频率示意图:

如图 2.5.08 所示, 键盘输入模块 Keyboard 的 Note 输出端(蓝色方形控制输出端子), 与主振荡器模块 OscB 左边 Pitch 输入端(蓝色圆形控制输入端子)相连, 表明振荡器 OscB 的频率将受到从音高调制输入的, 键盘输入模块 Keyboard 采集到的演奏音高信息的影响, 随着演奏音符的高低成比例地变化。

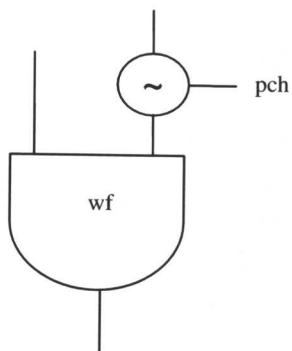


图 2.5.07 通过振荡器随演奏音高改变分音频率流程图

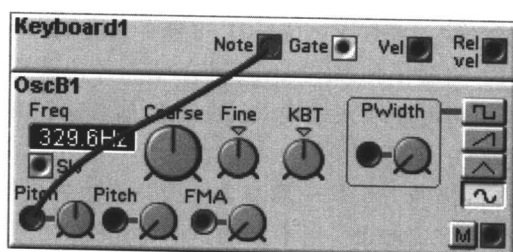


图 2.5.08 Nord Modular 通过振荡器随演奏音高改变分音频率示意图

另一种获得分音频率随演奏音高变化的方法是：设法使滤波器的参数按照演奏音高成比例地改变，即可实现随演奏音高变化的分音频率。见图 2.5.09 通过滤波器随演奏音高改变分音频率流程图：

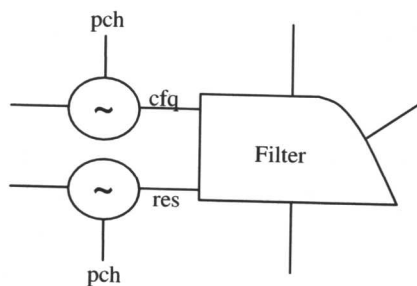


图 2.5.09 通过滤波器随演奏音高改变分音频率流程图

如图 2.5.09 所示，滤波器的参数截止频率(cfq)与共振(res)将按照输入音高(pch)成比例地变化，由此实现声谱内容随演奏音高的变化。实际操作见图 2.5.10 Nord Modular 通过滤波器随演奏音高改变分音频率示意图：

如图 2.5.10 所示，键盘输入模块 Keyboard1 的演奏音高输出端(蓝色方形输出端子)Note

与传统低通滤波器 FilterF1 的截止频率(Freq)调制输入端(蓝色圆形输入端子)相连接, 滤波器 FilterF1 的截止频率参数将按照输入模块 Keyboard1 捕获的演奏音高成比例地变化。

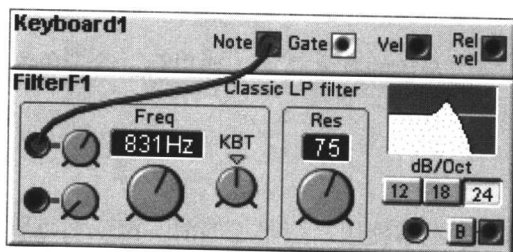


图 2.5.10 Nord Modular 通过滤波器随演奏音高改变分音频率示意图

2. 随演奏音高改变分音振幅

随演奏音高改变分音振幅的方法与随演奏音高获得音色力度变化的方法相同, 主要是通过演奏音高影响振荡器的振幅参量。不同仅在于一个是受演奏音高影响的分音振荡器, 另一个则是让演奏音高影响整个声音的振幅响应。有关的操作原理与方法我们在前面已经有详细的介绍, 这里就不赘述了。

根据不同声音合成算法, 获得声谱内容随演奏音高变化的方法不尽相同, 但大都需要能够采集演奏音高的软硬件器材。不同声音合成算法中获得声谱内容随演奏音高变化的具体方法, 我们将在以后的章节中以实践的方式加以介绍。

声谱内容除了随时间、演奏力度和音高变化以外, 还可以随其它因素而变化, 由于篇幅所限就不赘述了。以上所述的内容都是单一因素情况下对声谱内容变化的影响, 及如何获得这些变化的方法。不同因素的不同组合对声谱内容的影响就比较复杂了。如我们已经通过将包络发生器与滤波器的截止频率相连, 获得了声谱内容随时间的变化基本模式, 如果再对包络发生器的参数进行调制控制, 比如让力度因素控制包络发生器的触发时间, 这样音色声谱内容的变化在基础模式上增加了随力度因素变化的子模式。关于组合因素对声谱内容的影响我们将在以后的章节中以实践的方式加以介绍。

在我们获得了静态和动态的声谱之后, 一个音色的基本面貌就已经展现在大家眼前, 换言之音色的前期合成工作已经完成了。下面让我们进入音色合成与制作的后期阶段——音色制作的修饰。

思考题:

- 一. 声谱内容主要指哪两个方面的内容? 声谱内容主要随哪些因素发生动态变化?
- 二. 试比较获得分音频率随各因素变化的方法, 与音色音高随各因素变化方法的异同。
- 三. 试比较获得分音振幅随各因素变化的方法, 与音色力度随各因素变化方法的异同。

练习题:

- 一. 绘制获得分音频率随各种因素变化主要方法的流程图。
- 二. 绘制获得分音振幅随各种因素变化主要方法的流程图。

第6讲 后音色修饰

后音色修饰指的是在完成音色的基本合成工作以后，给音色添加演奏控制和进行效果器处理等后期修饰工作。

一、演奏控制

当我们演奏自然乐器时，经常使用一些附加的演奏法或通过辅助演奏器材如踏板等产生颤音、震音、弯音、滑音、延音等效果。目前许多硬件设备上都提供各种形式的硬件控制器，如控制轮、控制条、控制旋钮、控制推子等等，利用这些硬件控制器方便实时地对音色进行演奏控制。通过声音合成方法实现演奏控制一般有两个步骤，首先应该通过算法实现该演奏控制功能，然后，设法使该功能接受外部某硬件控制器的控制。

在各软硬件声音合成系统中，虽然对演奏控制的方法不尽相同，但总的来说有预置演奏控制和自定义演奏控制两类。下面让我们以 Nord Modular 为例，看看在声音合成中实现演奏控制效果的原理与方法。

1. 自定义演奏控制

在 Nord Modular 中，需要自定义的演奏控制有颤音与震音控制。

A. 颤音

实现颤音(Vibrato)的原理与方法与本章第4讲中介绍的，获得音色音高的周期性变化的原理与方法一致——通过低频振荡器控制发声振荡器的频率参数，就可以获得颤音效果。

常用的控制颤音的硬件控制器一般都是 MIDI 键盘或合成器上的调制轮(Modulation Wheel)，而我们知道调制轮默认^①发送的 MIDI 信息是控制变换的1号信息——调制。要做到通过调制轮实时地控制颤音效果，就需要设法让调制信息影响低频振荡器对发声振荡器的作用量。

理论上我们可以让 MIDI 调制信息分别控制低频振荡器的振幅、频率或发声振荡器频率的调制量，从而达到分别控制颤音深度(Vibrato Depth)和颤音速率(Vibrato Ratio)的目的。在 MIDI 中，一般情况下，调制信息默认的控制内容是颤音深度，就让我们以调制信息实时控制颤音深度为例，看一看获得实时颤音控制的原理与方法，见图 2.6.01 自定义实时颤音深度控制器流程图：

如图 2.6.01 所示，发声振荡器的频率受低频振荡器的影响，产生颤音效果；通过使低频振荡器的振幅随参数 Mod——调制信息成比例地变化，从而达到实时控制发声振荡器颤音深度的目的。通过 Nord Modular 获得实时颤音深度控制的实践中，与理论上略有差异。因为 Nord Modular 中的振荡器没有振幅控制参数，因此采用了控制低频振荡器输出信号大小的方法。见图 2.6.02 Nord Modular 自定义实时颤音深度控制器示意图：

^① 目前许多硬件中，调制轮发送的具体信息内容可以根据需要改变。

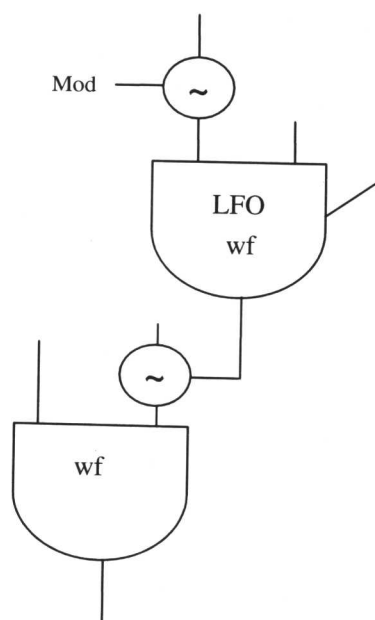


图 2.6.01 自定义实时颤音深度控制器流程图

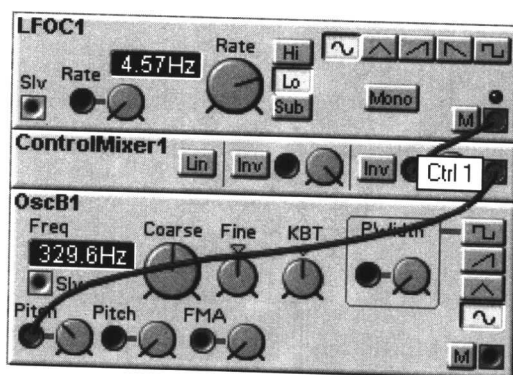


图 2.6.02 Nord Modular 自定义实时颤音深度控制器示意图

如图 2.6.02 所示低频振荡器 LFOC1 的输出端(蓝色方形输出端子)与控制信号混合器 ControlMixer1 的第二路(右边)输入端(蓝色圆形输入端子)相连接,再通过 ControlMixer1 的输出端(蓝色方形输出端子)与发声振荡器 OscB1 的音高调制输入端(蓝色圆形输入端子)相连接。

如果不需要实时的硬件控制,只需要将低频振荡器的输出端与发声振荡器的音高调制输入端相连接即可实现颤音效果。但为了实现硬件的实时控制,与图 2.4.08 相比较,图 2.6.02 中增加了一个模块 ControlMixer(控制信号混合器),该模块的功能是可以将不同的控制信号混合在一起,并可以通过调节各路输入信号旁边的旋钮,分别控制两路信号中每路信号的大小。我们这里其实没有使用它的混合功能,而主要使用了其对信号大小的控制功能。

通过它控制低频振荡器的信号输出量，就可以控制发声振荡器的颤音深度了。

通过调节 ControlMixer1 第二路输入端旁边的旋钮，就可以实现对颤音深度的控制，但还没有实现对颤音深度的实时控制。要实现实时的颤音深度控制还需要使 MIDI 调制信息可以控制该旋钮的大小。只要将该旋钮的外部控制信息源设定为调制信息即可，见图 2.6.02 ControlMixer1 第二路输入端旁边旋钮上方显示^①的文字框中的内容为 Ctrl 1(Control 1)，表明该旋钮的外部控制信息源就是 MIDI 调制信息。这时，通过 MIDI 键盘或合成器上的调制轮就可以实时地控制颤音深度了。

B. 震音

在声音合成中，实现震音(Tremolo)的常用方法也是通过低频振荡器，但与获得颤音的方法略有差异。颤音是通过低频振荡器控制发声振荡器的频率实现的，而震音是通过低频振荡器控制发声振荡器的振幅实现的。对震音的实时控制，同样有速率和深度之分，让我们以实时获得震音深度控制为例，看一看获得实时震音控制的原理，见图 2.6.03 自定义实时震音深度控制器流程图：

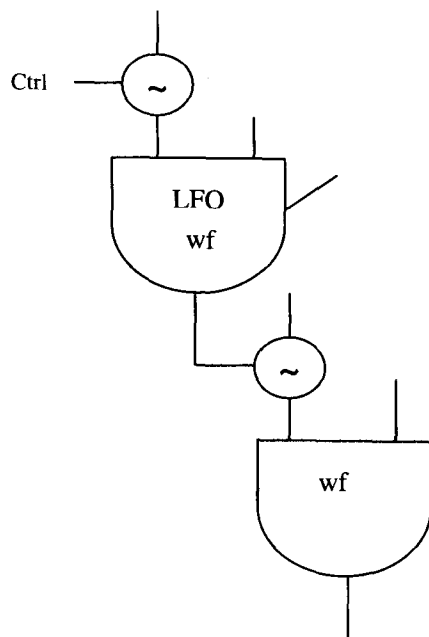


图 2.6.03 自定义实时震音深度控制器流程图

如图 2.6.03 所示，发声振荡器在低频振荡器对其振幅的影响下发出震音效果，随参数控制信息(Ctrl=Control)成比例变化的低频振荡器振幅，可以实现对发声振荡器震音深度的实时控制。实践中的方法见图 2.6.04 Nord Modular 自定义实时震音深度控制器示意图：

^① 在 Nord Modular 的软件编辑器中按 F9 可以显示出所有外部控制信息源。



图 2.6.04 Nord Modular 自定义实时震音深度控制器示意图

如图 2.6.04 所示低频振荡器 LFOC1 的输出端(蓝色方形输出端子)与控制信号混合器 ControlMixer1 的第二路(右边)输入端(蓝色圆形输入端子)相连接,再通过 ControlMixer1 的输出端(蓝色方形输出端子)与发声振荡器 OscC1 的振幅调制输入端(红色圆形输入端子)相连接。

发声振荡器 OscC1 经低频振荡器的调制,产生震音效果;控制信号混合器 Control Mixer1 第二路输入端旁边的旋钮起到控制震音深度的作用;该旋钮的外部控制信息源(此处为第 92 号 MIDI 控制变换信息——震音深度)实现发声振荡器震音深度的实时控制。

在自定义实时控制器中,只要改变相应控件的外部控制源,就可以做到通过不同的 MIDI 信息,或不同的硬件控制器材达到实时控制颤音和震音的目的。

2. 预置演奏控制

Nord Modular 中预置了以下三种演奏控制功能:弯音(Pitch Bend)、滑音(Portamento)和延音(Sustain)。

弯音控制:通过弯音轮,按照弯音敏感度^①规定的音程大小,实时地向上或向下滑动当前演奏音高的过程叫做弯音控制。

滑音控制:模拟以连奏方式演奏自然乐器时,顺序出现的音高之间的连续音高滑动现象的过程叫做滑音控制。

延音控制:通过延音踏板延长音色发声时长的过程叫做延音控制。

弯音控制和滑音控制的原理不外乎通过各种参数,调制或控制振荡器的频率;延音控制可以通过调制或控制振幅包络的衰减时间或其它方法获得。由于 Nord Modular 中预置了这些演奏控制功能,不需要我们再自行搭建该功能,所以有关这些演奏控制的原理就不详细讨论了。至于在 Nord Modular 中如何设定这些预置演奏控制的参数,请参阅相关的使用手册,为节省篇幅,这里就不再赘述。

实现了声音合成制作后音色修饰阶段的演奏控制功能之后,就可以进入到后音色修饰

^① 有关弯音敏感度(Pitch Bend Sensitivity)的概念与作用请参阅相关专业书籍。

的另一个阶段，一般来说也是声音合成与制作的最后一个阶段，为音色添加声音效果。

二、声音效果

根据施加给音色的声音效果对音色的影响，我们将声音效果分为两种：对音色进一步改变的信号处理和对音色进行润色的信号修饰。

1. 信号处理

对音色进行信号处理包括对以下两方面内容：对声谱内容的处理，以及对音色力度的处理。

A. 声谱内容

在声音合成中，例如我们已经通过减法合成方法，使用锯齿波和低通滤波器获得了电贝司音色的基本声谱，当我们在保持该声谱基本模式的情况下，需要进一步增加或降低整个音色的明暗度时，就需要使用效果器对该音色进行声谱内容的再处理。

对声谱内容的修饰工作往往是由一种专门化的滤波器——均衡器完成的。大家对均衡器(EQ=Equalizer)一词并不陌生。大到专业的调音台、小到家用音响，甚至 MP3 播放器上都有均衡器。均衡器是专门应用于电声处理领域的带通、带除滤波器。常用的均衡器有参数均衡器和图示均衡器。

a) 参数均衡器

参数均衡器(Parameter Equalizer)是可以根据需要，改变滤波器的 Q 值等滤波器参数的带通、带除滤波器。参数均衡器大都使用于专业电声处理器材中。在声音合成制作中也广泛地被应用，见图 2.6.05 Nord Modular 参数均衡器：

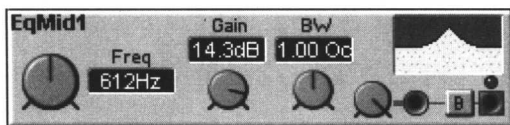


图 2.6.05 Nord Modular 参数均衡器

图 2.6.05 所示的参数均衡器 EqMid 可以通过调整 Gain (增益)和 BW (带宽)旋钮的位置，达到改变滤波器 Q 值的目的。

b) 图示均衡器

图示均衡器(Graphic Equalizer)由若干中央频率不同，相对固定带宽与 Q 值的带通、带除滤波器组成，单个这样的滤波器被称为图示均衡器中的一段。例如 3 段均衡器中包含 3 个中央频率不同，相对固定带宽与 Q 值的带通、带除滤波器。与参数滤波器比较，图示均衡器具有直观、易操作等特点，在专业和民用领域都被广泛地应用。在声音合成中，我们也经常使用图示均衡器对结果声音进行进一步修饰。见图 2.6.06 Nord Modular 图示均衡器：

图 2.6.06 所示的图示均衡器 Filter Bank 是一个 14 段图示均衡器(中央频率从 50 赫兹至 8300 赫兹)，通过上下拉动每一段中的增益控制条(推子)，决定对各段的频率进行带通、带除滤波处理。

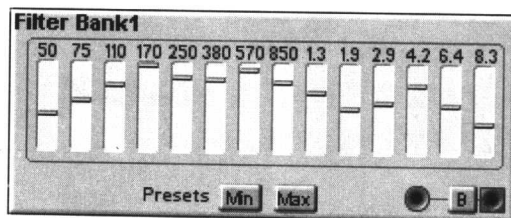


图 2.6.06 Nord Modular 图示均衡器

本书中后音色修饰部分, 信号处理的另一方面重要内容就是对音色力度的处理。

B. 音色力度

当完成音色的振幅变化, 也就是声音的动态响应不符合某些要求时, 就需要对音色进行音色力度的再处理。对音色力度的再处理工作一般是由压限器和扩展器完成的。

a) 压限

当信号的动态过大, 需要将信号的振幅压缩和限制在某个范围内的时候, 需要将该信号经过压缩器(Compressor)和限幅器(Limiter)的处理。一般来说压缩器和限幅器的功能被整合到一个硬件设备——压限器中, 见图 2.6.07 Nord Modular 压限器模块:



图 2.6.07 Nord Modular 压限器模块

通过控制图 2.6.07 所示压限器的各种参数, 可以降低强输入信号的振幅, 升高弱信号的振幅。

b) 扩展

当声音信号的动态过小, 需要将信号的振幅提升到某个范围时, 就需要扩展效果器(Expander)的帮助。见图 2.6.08 Nord Modular 扩展器模块:

图 2.6.08 所示是一个带有门限^①(Gate)控制的扩展器。通过调整其各种参数可以提高弱信号的动态范围, 对强信号则没有作用。

完成对音色的声谱内容及振幅的处理工作后, 音色合成与制作的最后一步工作就是信号修饰。

^① 有关门限的概念请参阅相关专业书籍。

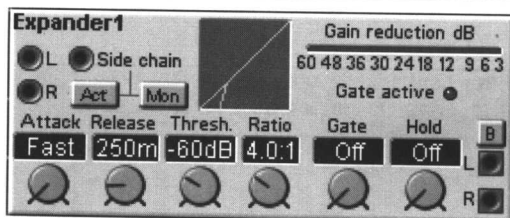


图 2.6.08 Nord Modular 扩展器模块

2. 信号修饰

在电声处理领域,随着人们不断地实践,总结并固定下来了一批特定的信号修饰方法,并产生了一系列相应的硬件效果器。本书中只介绍一些典型的信号修饰方法。根据信号修饰对声音信号产生的影响,我们将其分为“丑化”和“美化”^①两种类型:

A. “丑化”的修饰

“丑化”的修饰是针对那些经过信号修饰后,给原始信号带来了许多噪音成份的信号修饰方法而言的。通常“丑化”的修饰方法有失真和过载等。

a) 失真

对信号的失真(Distortion)处理,是根据电声信号的消顶失真^②现象,通过人为地降低消顶失真阈限的方法,给信号带来失真效果的过程。失真效果一般是通过失真效果器实现的,见图 2.6.09 Nord Modular 失真模块:



图 2.6.09 Nord Modular 失真模块

图 2.6.09 所示是 Nord Modular 中名称为 Clip(修剪)的音频处理模块。调节旋钮 Clip 可以改变失真度的大小。

b) 过载

对信号的过载(Overdrive)处理同样基于消顶失真原理,只不过方法上与失真相反。失真效果是降低消顶失真阈限,而过载则是通过将信号放大,迫使其冲击阈限,从而达到失真效果的。过载效果器的实例见图 2.6.10 Nord Modular 过载模块:

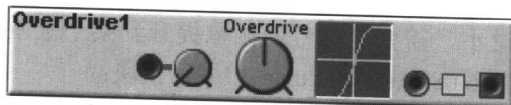


图 2.6.10 Nord Modular 过载模块

图 2.6.10 所示是 Nord Modular 中名称为 Overdrive(过载)的音频处理模块。调节旋钮 Overdrive 可以改变过载效果的大小。该模块相对失真模块而言,可以给信号带来比较温暖的“丑化”效果。

① 这里的丑化和美化没有美学含义,因此被加上了引号。

② 有关消顶失真的概念请参阅相关专业书籍。

其实失真效果器和过载效果器我们并不陌生，它们早已被广泛地应用于电吉他的音色修饰中。信号修饰的另一重要任务就是对声音进行“美化”。

B. “美化”的修饰

为了模拟自然声场中的回声、混响等效果，人们采用了很多效果器如延迟器、混响器等来处理声音信号，客观上形成了对声音的“美化”效果。随着实践的不断深入，还产生了许多具有电声特点的非自然效果，如镶边(Flange)等。

a)延迟

为了模拟自然声场中声音的回声效果，以及根据人耳双耳听觉效应^①，人工制造立体声效果等，对声音进行延迟(Delay)处理是必不可少的。见图 2.6.11 Nord Modular 延迟模块：

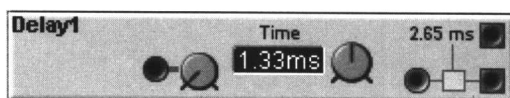


图 2.6.11 Nord Modular 延迟模块

图 2.6.11 所示为 Nord Modular 中名称为 Delay(延迟)的音频处理模块。通过它可以使音频信号产生 0 至 2.65 毫秒的延迟^②效果。

b)合唱

根据合唱队或弦乐队在发声时，由于各个声源之间音高的细微差异，产生的复杂的混合细微拍音^③，再加上各个声源之间音色的细微差异，造成了群感，形成一种特殊音质的原理，我们通过微调信号的音高，然后将其与原始信号混合，模拟群感音质。完成这一声音修饰工作的设备就是合唱(Chorus)效果器。见图 2.6.12 Nord Modular 合唱模块：

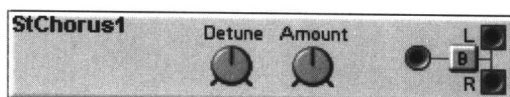


图 2.6.12 Nord Modular 合唱模块

图 2.6.12 所示是一个立体声合唱效果器模块。通过调整名称为 StChorus(立体声合唱)的 Detune(音高失准度)和 Amount(数量)旋钮对模拟的群感音质进行细致的调整。

c)混响

混响(Reverb)效果是一种模拟声源在封闭或半封闭自然声场中，由于声场环境不同，近次反射声与多次反射声^④交织在一起，造成的混响现象。在声音处理领域，常用的其它效果还有镶边(Flange)、自动象位(Auto Pan)等。

虽然在 Nord Modular 中没有专门实现以上几种效果的专门模块，但是上述效果在声音合成领域也是被广泛应用的。

① 有关双耳听觉效应与延迟的关系请参阅相关专业书籍。

② 由于该模块延迟时间过短，因此不适宜通过它产生回声效果。第三章第 8 讲《加法合成“合成领奏”音色(之二)》中，我们将介绍一种通过非效果器手段模拟回声现象的方法。

③ 有关拍音的概念请参阅相关专业书籍。

④ 有关声音的传导属性请参阅相关专业书籍。

由上我们知道对声音修饰主要体现在对声音的“丑化”和“美化”两方面，完成该工作的主要工具是各种效果器。有关各种效果器的参数设置以及具体用法，由于不是本书的主要内容，请参阅其它相关专业书籍。

后音色修饰包括演奏控制和声音效果两方面。总的来说，它们在声音合成中占的比例不大，但对有些音色，尤其是非自然音色来说则不同，后音色修饰的内容甚至是构成它们音色特质的主要成份。

至此，我们以声音合成的步骤为逻辑，逐步了解了获得静态声谱、获得动态声谱以及后音色修饰的内容、方法及实现这些内容的主要工具。下面让我们进入到声音合成与制作的实践阶段。

思考题：

- 一. 后音色修饰主要包括哪两个方面的内容？请具体说明。
- 二. 试比较获得颤音的理论方法与实践方法的异同。
- 三. 试比较获得震音的理论方法与实践方法的异同。
- 四. 试比较均衡器与滤波器的异同。
- 五. 简述参数均衡器与图示均衡器的异同。

练习题：

- 一. 绘制获得颤音的方法流程图。
- 二. 绘制获得震音的方法流程图。

第三章 加法合成

通过将简单声音元素相加而获得目的声谱的音色合成方法叫做加法合成(Additive Synthesis)。本章中,我们将采用加法合成方法,进行一系列音色的合成实践。

第 1 讲 加法合成理论音色

在第一章第 1 讲中,讲解声谱概念的时候,我们曾经以一根振动的琴弦为例,分析该琴弦 1/2 处、1/3 等处与整根弦振动的情况(图 1.1.01);第二章第一讲中我们根据这个例子,以频率比分别为整数倍的五个正弦波,理论上合成了一个虚拟的人工理论音色(图 2.1.02 和图 2.1.03)。下面让我们在 Nord Modular 上以实践的方式合成该声音,体会一下该理论音色的实际效果的同时,熟悉一下 Nord Modular 中的基本操作,为以后的声音合成实践,做操作上的准备。

一、音色分析

本部分内容包括以下几个部分:首先对该音色进行特征描述、然后根据绘制的算法框图进行算法分析。

1. 音色特征描述

已知该理论音色包含五个分音,第二、三、四、五分音的频率分别为第一分音的 2、3、4、5 倍,即该音色由基频以及四个泛音组成。

2. 绘制算法框图

根据上面的音色特征,采用加法合成方法合成该理论音色的算法框图见图 3.1.01 加法合成理论音色流程图:

参数	Fq1	Fq2	Fq3	Fq4	Fq5
取值	Fq1	Fq1*2	Fq1*3	Fq1*4	Fq1*5

表 3.1.01 加法合成理论音色振荡器频率参数

3. 算法分析

按照图 3.1.01 中信号流程,我们对加法合成理论音色的操作步骤流程分析如下:

- 频率关系为整数倍关系(如表 3.1.01), 5 个正弦波振荡器 Osc1 至 Osc5 输出信号被相加在一起。
- 经包络发生器 ADSR 将声音信号送出。参数 A 和 R 表明包络发生器 ADSR 的触发时间和释放时间非常短。参数 D 表示被处理信号大小将以 520 毫秒的时间, 衰减到 S 规定的大小, 但由于延留阶段的振幅取值是 64, 为最大, 因此包络发生器默认的衰减时间其实没有起作用。
- 输出信号受演奏力度影响, 跟随演奏力度的大小成比例变化。

下面让我们根据音色分析的结果, 通过 Nord Modular, 按步骤完成加法合成理论音色的合成与制作工作。

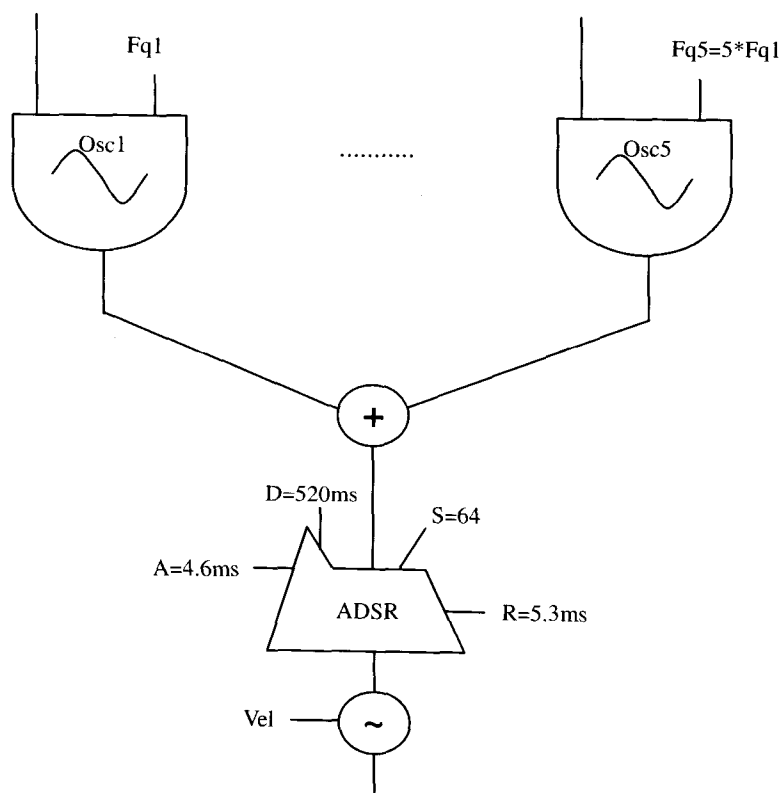


图 3.1.01 加法合成理论音色流程图

二、获得静态声谱

获得静态声谱主要包括获得声源及对声谱进行修饰, 就本例加法合成理论音色而言, 主要是获得声源的任务。

执行 GP11^①做好系统准备；执行 GP15 关闭目前所有音色窗口；执行 GP12 新建一音色，目标声部：A。

步骤 1:

考虑到本例中需要五个振荡器，而各个振荡器的作用只是产生声谱中的一个分音成份，因此使用属振荡器可以合理地利用资源：

操作 A：执行 GP01 调用主振荡器 *MasterOsc*^②。

Nord Modular 的属振荡器有许多种，对本例而言，不要求属振荡器具有许多可控参数，因此这里我们选择 *OscSineBank*(正弦振荡器库)。该振荡器由六个子振荡器组成，*Osc1* 至 *Osc6* 纵向排列在一个模块中，可以产生独立的六个正弦波：

操作 B：执行 GP01 调用属振荡器 *OscSineBank*。

使振荡器 *OscSineBank1* 的音高随着振荡器 *MasterOsc1* 音高的变化而变化，实现主振荡器对属振荡器的控制：

操作 C：执行 GP03 连线，起始端口：振荡器 *MasterOsc1* 灰色方形 *Slv* 输出；目标端口：振荡器 *OscSineBank1* 灰色圆形 *Mst* 输入。

执行 GP16 保存当前编辑音色，文件名：*01.pch。

这时，各模块之间关系见图 3.1.02 加法合成理论音色步骤 1：

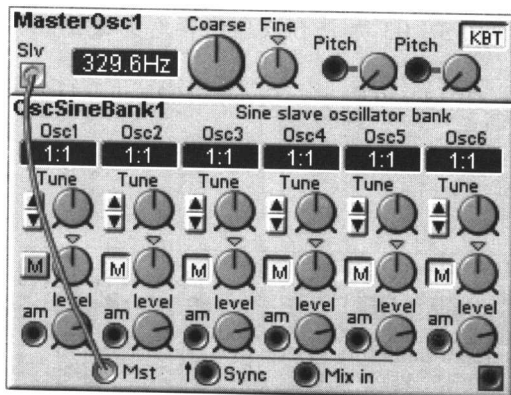


图 3.1.02 加法合成理论音色步骤 1

读者也可以通过执行 GP13，文件名：FiveSine01.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

步骤 2:

由于本音色共有五个分音，因此我们选择属振荡器中的子振荡器 *Osc1* 至 *Osc5* 分别担任产生基频和 1 至 4 泛音的任务，即 *Osc1* 的频率等于 F_{q1} ，*Osc2* 至 *Osc5* 的频率分别等于 F_{q2} 至 F_{q5} ，根据表 3.1.01 中的数据，执行以下操作，完成对各振荡器频率的设定：

操作 A：执行 5 次 GP05，调整属振荡器 *OscSineBank1* 的参数 *Tune*，分别将 *Osc1* 至 *Osc5* 的频率与主振荡器频率的比值设定为 1:1、2:1、3:1、4:1 和 5:1。

① 有关编号为 GP# 的全局操作的具体步骤请参阅本书附录三。

② 使用斜体字表示的内容为 Nord Modular 中的模块名称或参数名称。

默认状态下, 属振荡器 *OscSineBank1* 的各子振荡器中只有 *Osc1* 是开启的, 我们需要另行开启 *Osc2* 至 *Osc5*, 解除对子振荡器 *Osc2* 至 *Osc5* 信号的输出管制:

操作 B: 点击 *Osc2* 至 *Osc5* 中带字母“M”的方形按钮  (激活哑音开关状态), 这里 *M* 是 Mute——哑音的缩写, 使其都变成这个状态:  (解除哑音开关状态)。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *02.pch。

这时, 各模块之间关系见图 3.1.03 加法合成理论音色步骤 2:

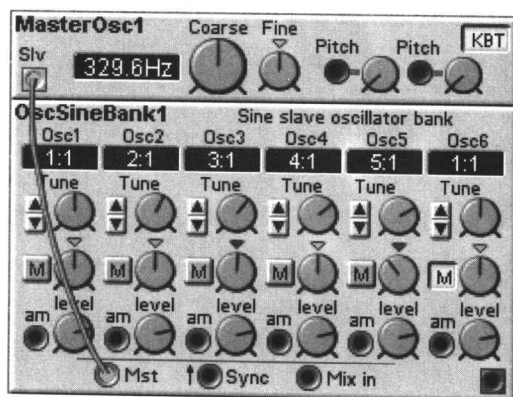


图 3.1.03 加法合成理论音色步骤 2

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: FiveSine02.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

步骤 3:



图 3.1.04 加法合成理论音色步骤 3

为将振荡器产生的信号输出, 听到声音, 我们需要调用音频输出模块:

操作 A: 执行 GP01 调用音频输出模块 2 *outputs*。

本例中振荡器与立体声音频输出模块间采用了串型连接:

操作 B^①: 执行 GP03 连线, 起始端口: 属振荡器 *OscSineBank1* 红色方形音频输出;
目标端口: 音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 L。

操作 C: 执行 GP03 连线, 起始端口: 音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 L;
目标端口: 音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 R。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *03.pch。

这时, 各模块之间关系见图 3.1.04 加法合成理论音色步骤 3:

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: FiveSine03.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

现在我们已经可以听到声音了。通过音频输出模块 2 *outputs1* 上的哑音开关(默认状态为解除状态)可以控制声音的送出与否。

三、获得动态声谱

就本例合成的音色而言, 获得动态声谱包含两部分内容: 获得音色力度随时间和演奏力度的变化。

1. 获得音色力度随时间变化

步骤 4

为了完成音色力度随时间的变化, 我们需要包络发生器来管理振荡器的输出信号, 这里我们选择标准的 ADSR 包络发生器:

操作 A: 执行 GP01 调用标准包络发生器 *ADSR-Env*。

根据算法框图中参数, 调整包络发生器参数。这样的参数设置只为了防止由于过快的触发及释放时间, 在演奏类似这样的音色时带来的“噗”声:

操作 B: 执行 2 次 GP05, 将包络发生器 *ADSR-Env1* 的触发时间参数 A 和 R 分别设定为 4.6 毫秒和 5.3 毫秒。

在将包络发生器纳入系统之前, 需要解除以前振荡器 *OscSineBank1* 与音频输出模块 2 *outputs1* 的直接连接:

操作 C: 执行 GP04 去掉步骤 3 操作 B 中的连线。

让振荡器 *OscSineBank1* 通过包络发生器 *ADSR-Env1*, 连接到音频输出模块 2 *outputs1*:

操作 D: 执行 GP03 连线, 起始端口: 属振荡器 *OscSineBank1* 红色方形音频输出; 目标端口: 包络发生器 *ADSR-Env1* 红色圆形音频输入。

操作 E: 执行 GP03 连线, 起始端口: 包络发生器 *ADSR-Env1* 红色方形音频输出; 目标端口: 音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 L。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *04.pch。

这时, 各模块之间关系见图 3.1.05 加法合成理论音色步骤 4:

^① 为方便查找, 我们将在未来步骤中有可能被重新执行的步骤编码上增加了方框标记。

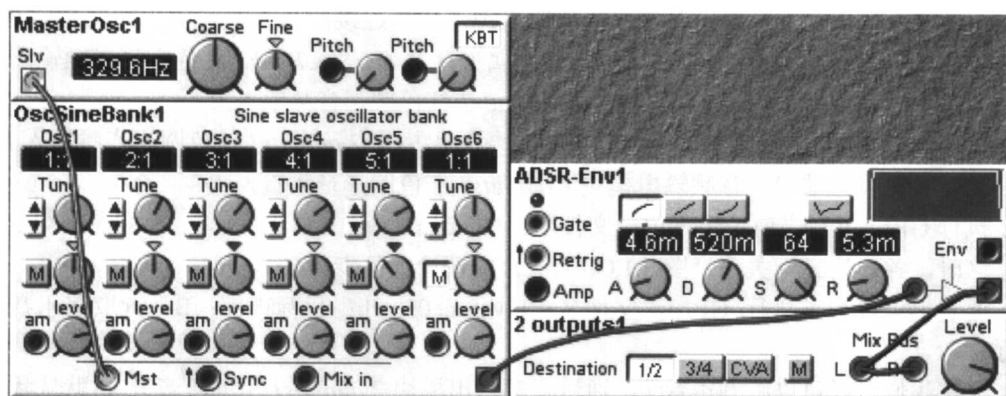


图 3.1.05 加法合成理论音色步骤 4

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: FiveSine04.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

这时, 虽然各模块之间都已经获得连接, 但是我们反而听不到声音了。原因是在 Nord Modular 中, 包络发生器需要逻辑触发信号才能工作。

步骤 5

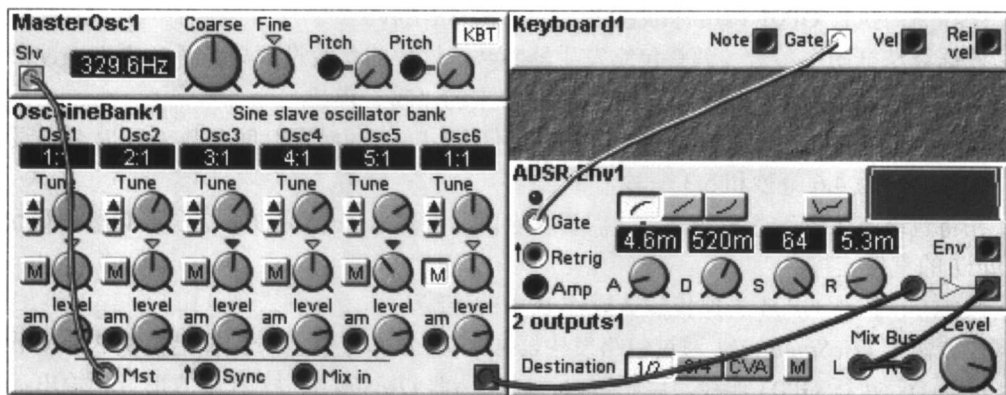


图 3.1.06 加法合成理论音色步骤 5

Nord Modular 中能够发送逻辑触发信号的模块有很多, 本例中我们选择键盘输入模块, 以便通过 MIDI 键盘的琴键获得逻辑触发信号:

操作 A: 执行 GP01 调用键盘输入模块 *Keyboard*。

连接键盘输入模块与包络发生器模块:

操作 B: 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 黄色方形逻辑输出 *Gate*;

目标端口: 包络发生器 *ADSR-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *05.pch。

这时，各模块之间关系见图 3.1.06 加法合成理论音色步骤 5：

读者也可以通过执行 GP13，文件名：FiveSine05.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

这时，只要演奏 MIDI 键盘或 Nord Modular 编辑器中提供的键盘工具，就能够听到所制作音色的声音了。

2. 获得音色力度随演奏力度变化

步骤 6

将键盘输入模块获得的力度参数送入包络发生器的振幅调制端，激活演奏力度对音色力度的影响：

操作 A：执行 GP01 连线，起始端口：键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Vel*；
目标端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：*06.pch。

这时，各模块之间关系见图 3.1.07 加法合成理论音色步骤 6：

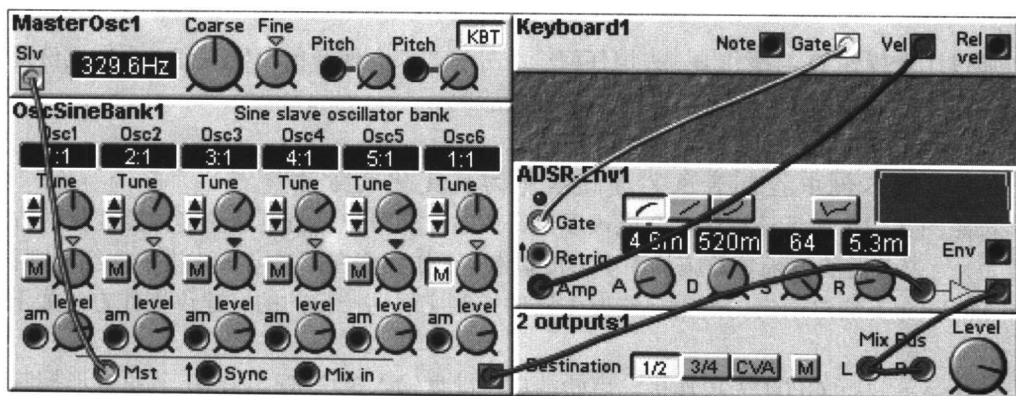


图 3.1.07 加法合成理论音色步骤 6

读者也可以通过执行 GP13，文件名：FiveSine06.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

执行 GP15 关闭所有音色窗口，然后按 Ctrl+U 只调用当前激活的音色^①。

由于该音色比较简单，至于第二章中提到的音色合成与制作的诸多步骤在本音色中没有必要一一实践，我们将随着音色合成实践的深入，逐步介绍它们。至此，我们完成了按照加法合成方法，在 Nord Modular 中合成理论音色的工作。

四、音色讨论建议

针对加法合成的理论音色的特点，我们对大家在音色制作完成之后，通过实践对该音色进行讨论分析的内容有如下建议：

^① 大家可以根据计算机的运转能力，自行决定该操作的执行与否。

1. 理解声谱内容与音色感知的关系

通过随机关闭和开启,担任分音发声源的属振荡器, *OscSineBank* 中各子振荡器 *Osc1* 至 *Osc5* 的哑音开关,改变声谱成份,然后通过演奏该音色带来的声音,及频谱仪显示的相应声谱图,与原音响及声谱进行比较分析,为声谱内容与音色感知之间的关系建立感性认识。建议操作方法如下:

操作 A: 点击 *Osc2* 至 *Osc5* 中任意一个或几个子振荡器带字母“M”的方形按钮(解除哑音开关状态),使其都变成这个状态:(激活哑音开关状态)。激活对子振荡器 *Osc2* 至 *Osc5* 中任意一个或几个子振荡器所产生信号的输出管制。

操作 B: 演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图,记住其音色感觉与声谱图形状。

操作 C: 点击 *Osc2* 至 *Osc5* 中任意一个或几个子振荡器带字母“M”的方形按钮(激活哑音开关状态),使其都变成这个状态:(解除哑音开关状态)。解除对子振荡器 *Osc2* 至 *Osc5* 中任意一个或几个子振荡器所产生信号的输出管制。

操作 D: 演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图,与操作 B 得到的结果进行比较。

通过比较操作 D 与操作 B,去掉任何一个分音,都会使音色发生改变,声谱成份即声谱中包含分音的频率及振幅对音色有着重要的影响。

2. 理解本例中控制音色力度随演奏力度变化的方法

按照图 3.1.01 所示流程图,合成该理论音色时,获得音色力度随演奏力度变化的方法应该是,为振荡器的振幅参数施加演奏力度调制。正如我们在第二章第 4 讲中介绍的那样,Nord Modular 是通过演奏力度对包络发生器的控制实现这一目的的。建议操作方法如下:

操作 A: 执行 GP04 去掉连接,起始端口:键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Vel*;目标端口:包络发生器 *ADSR-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

操作 B: 用不同力度演奏该音色,记住其音色感觉。

操作 C: 执行 GP03 连线,起始端口:键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Vel*;目标端口:包络发生器 *ADSR-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

操作 D: 用不同力度演奏该音色,与操作 B 的结果进行比较。

操作 B 中,音色的力度不会受演奏力度影响,不论我们按照什么力度演奏该音色,得到的力度响应是一样的;操作 D 中,音色力度将随演奏力度的增加而增加,反之亦然。

练习题:

- 一. 观察当音色中分音数量增加时,结果音色在波形及振幅方面会发生哪些变化?
- 二. 观察不同力度演奏该音色时,波形及声谱的变化。

第2讲 加法合成钟声音色

本讲中，我们将通过加法合成的方法，合成一个典型的钟声(Bell)音色。

一、音色分析

本部分内容包括以下几个部分：首先对该音色进行特征描述、然后根据绘制的算法框图进行算法分析。

1. 音色特征描述

钟一般是铜等金属材质做成的。如果将钟想像成为由无数个金属环构成的话，当我们敲击一个悬挂的钟时，每个金属环都在振动，由于各金属环的直径不同，造成钟声的声谱中包含大量分音。

分析表明，由于钟的材质及其特殊形状，大多数钟声的声谱都是不谐和声谱，且具有较长的延音时间，其中低频至高频分音的延音时间呈现出逐渐衰减的现象。

2. 绘制算法框图

根据以上音色特点，我们绘制出加法合成钟声的算法框图，见图 3.2.01 加法合成钟声流程图：

参数	Fq1	Fq2	Fq3	Fq4	Fq5	Fq6	Fq7
取值	240	277.1	340.1	385	605.1	670.1	812.1

表 3.2.01 加法合成钟声振荡器频率参数(单位：赫兹)

参数	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
取值	14	12.6	11.7	9.8	8.2	6.3	4.4

表 3.2.02 加法合成钟声包络发生器衰减时间(单位：秒)

3. 算法分析

按照图 3.2.01 中信号流程，我们对加法合成钟声音色的操作步骤流程分析如下：

- 调用频率关系如表 3.2.01 中规定的，7 个正弦波振荡器 Osc1 至 Osc7。
- 在将振荡器信号相加输出之前，为每个振荡器施加振幅包络控制。根据钟声音色力度随时间变化的特点，这里选用了只包含触发和衰减两个阶段的简单包络发生器 AD1 至 AD7。较长的衰减时间 D1 至 D7 体现钟声长延音特征。从表 3.2.02 和 3.2.01 可以看出，随着振荡器频率的增加，包络发生器衰减时间呈递减的趋势。
- 同样，根据钟声音色的力度变化特点，我们选择经简单包络发生器 AD，将声音

信号送出。参数 D 规定的时间，与管理分音振幅包络发生器中最长的衰减时间 D1 相同，14 秒。

- 包络发生器输出信号受演奏力度影响，跟随演奏力度的大小成比例变化

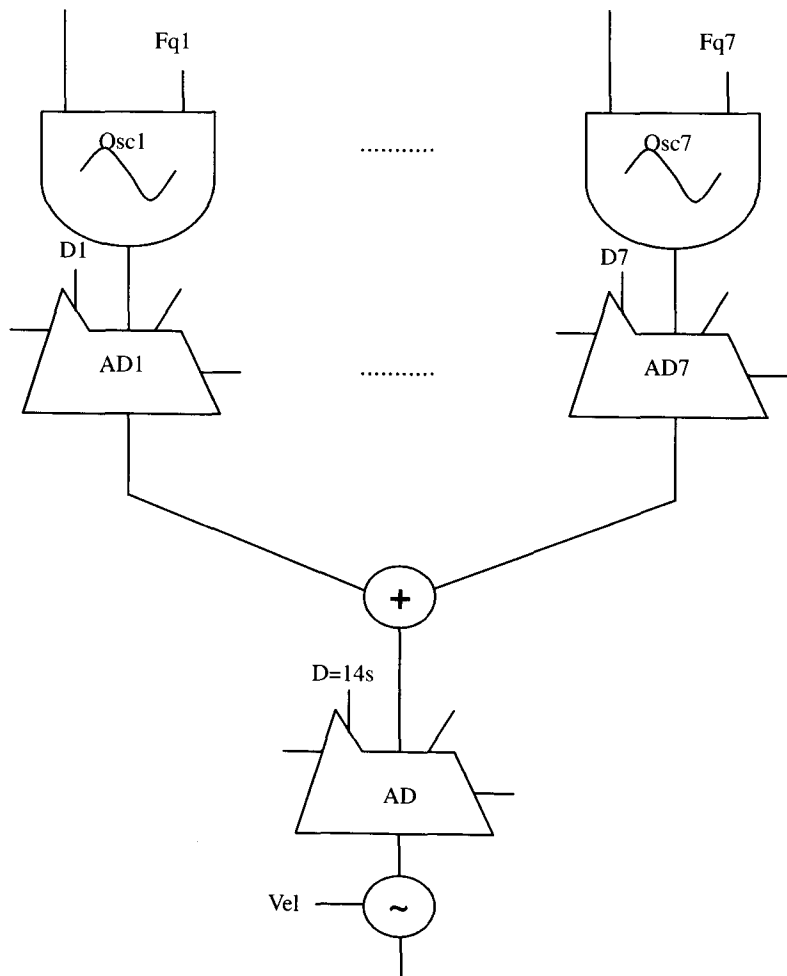


图 3.2.01 加法合成钟声流程图

下面让我们根据音色分析的结果，通过 Nord Modular，按步骤完成加法合成钟声音色的合成与制作工作。

二、获得静态声谱

获得静态声谱主要包括获得声源及对声谱进行修饰，就本例加法合成钟声音色而言，主要是获得声源的任务。

执行 GP11^①做好系统准备；执行 GP15 关闭目前所有音色窗口；执行 GP12 新建一音色，目标声部：A。

步骤 1：

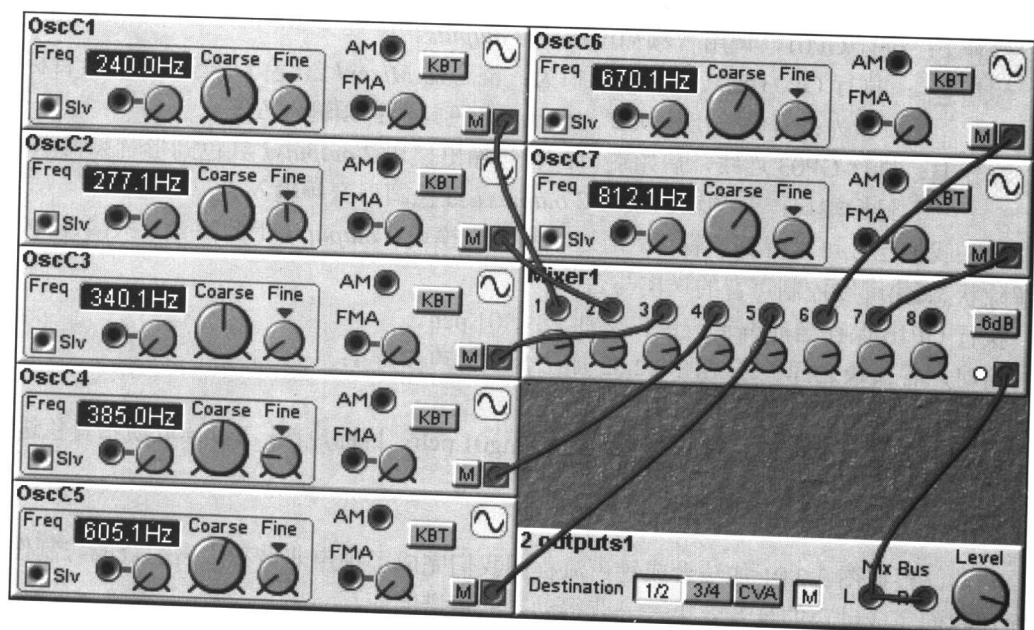


图 3.2.02 加法合成钟声步骤 1

本例中需要七个振荡器，本应考虑节省资源，使用属振荡器。但由于各振荡器的频率为固定值，因此选用主振荡器中最节省资源，仅产生正弦波的 *OscC*：

操作 A：执行 7 次 GP01，分别调用 7 个主振荡器模块 *OscC*^②。

操作 B：执行 7 次 GP05，按照表 3.2.01 中的规定设置振荡器 *OscC1* 至 *OscC7* 的频率。

模块跟随键盘输入的音高取值，变化其相应参数的功能叫做键盘跟踪功能，简称 KBT(Keyboard Tracking)功能。在默认状态下，振荡器 *OscC* 的频率具有 KBT 功能，但本例中要求振荡器为固定频率，因此需关闭此功能：

操作 C：分别点击振荡器 *OscC1* 至 *OscC7* 中标有文字“KBT”的按钮 **KBT**（默认状态为具有键盘跟踪功能），将其变为这个状态：**KBT**（取消键盘跟踪）。

第一讲中合成理论音色时，由于选择的是正弦振荡器库模块，其自动将各子振荡器的信号混合在一起了。本例中分别调用了具有独立输出的 7 个振荡器模块，因此需要将它们的信号混合相加。Nord Modular 中有许多混合器模块，我们现在需要调用一个至少具有 7 路输入能力的混合器模块，输入输出(in/out)模块组的 8 inputs mixer 模块具有处理 8 路输入信号的能力，可以满足我们的需要。

操作 D：执行 GP01，调用混合器模块 8 inputs mixer。

将各振荡器的输出信号送入混合器中相加：

① 有关编号为 GP# 的全局操作的具体步骤请参阅本书附录三。

② 使用斜体字表示的内容为 Nord Modular 中的模块名称或参数名称。

操作 E: 执行 7 次 GP03 连线, 起始端口分别为: 振荡器 *OscC1-OscC7* 的红色方形音频输出; 目标端口分别为: 混合器 *Mixer1* 的红色圆形音频输入 1-7。

将相加后的信号送出, 以便听到声音。首先需要调用输入输出模块组中的音频输出模块, 然后将其与混合后的信号串连:

操作 F: 执行 GP01, 调用音频输出模块 2 *outputs*。

操作 G^①: 执行 GP03 连线, 起始端口为: 混合器 *Mixer1* 红色方形音频输出; 目标端口为: 音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 L。

操作 H: 执行 GP03 连线, 起始端口: 音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 L; 目标端口: 音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 R。

现在我们已经可以听到声音了。通过音频输出模块 2 *outputs1* 上的哑音开关(默认状态为解除状态)可以控制声音的送出与否。

执行 GP16 保存当前编辑音色, 文件名: *01.pch。

这时, 各模块之间关系见图 3.2.02 加法合成钟声步骤 1:

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: Gong01.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

至此, 根据图 3.2.01 加法合成钟声流程图我们完成了钟声非谐和声谱的合成与制作, 下面让我们完成钟声的延音效果——获得动态的声谱响应。

三、获得动态声谱

本例中获得动态声谱的任务包括获得动态的音色力度响应与声谱内容变化。

1. 获得音色力度随时间及演奏力度变化

步骤 2:

完成与时间相关的参数变化主要依靠包络发生器, 根据钟声的特点, 我们不需要调用标准的, 包含 ADSR 四个阶段的包络发生器, 只需要调用包含触发和衰减两个阶段的包络发生器即可:

操作 A: 执行 GP01 调用包络发生器 *AD-Env*。

操作 B: 执行 GP05, 将包络发生器 *AD-Env1* 中的参数 *Dcy* 设置为 14 秒。

下面需要将混合器的信号通过包络发生器与音频输出模块相连接, 首先应该去掉混合器原来与音频输出模块的连接:

操作 C: 执行 GP04 去掉步骤 1 操作 G 中的连线。

去掉原来的连接之后, 进行新的连接:

操作 D: 执行 GP03 连线, 起始端口: 混合器 *Mixer1* 红色方形音频输出; 目标端口: 包络发生器 *AD-Env1* 红色圆形音频输入。

操作 E: 执行 GP03 连线, 起始端口: 包络发生器 *AD-Env1* 红色方形音频输出; 目标端口: 音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 L。

① 为方便查找, 我们将在未来步骤中有可能被重新执行的步骤编码上增加了方框标记。

下面完成包络发生器与键盘输入模块的连接，从键盘输入获得包络发生器的逻辑触发信号：

操作 F：执行 GP01 调用键盘输入模块 *Keyboard*。

操作 G：执行 GP03 连线，起始端口：键盘输入模块 *Keyboard* 黄色圆形逻辑输出 *Gate*；
目标端口：包络发生器 *AD-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

至此，我们获得了钟声的音色力度随时间的变化功能，演奏键盘或软件中提供的演奏工具，就可以听到正确延音时间的钟声。接下来，我们还需要使音色力度随演奏力度变化。

操作 H：执行 GP03 连线，起始端口：键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Vel*；
目标端口：包络发生器 *AD-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：*02.pch。

这时，各模块之间关系见图 3.2.03 加法合成钟声步骤 2：

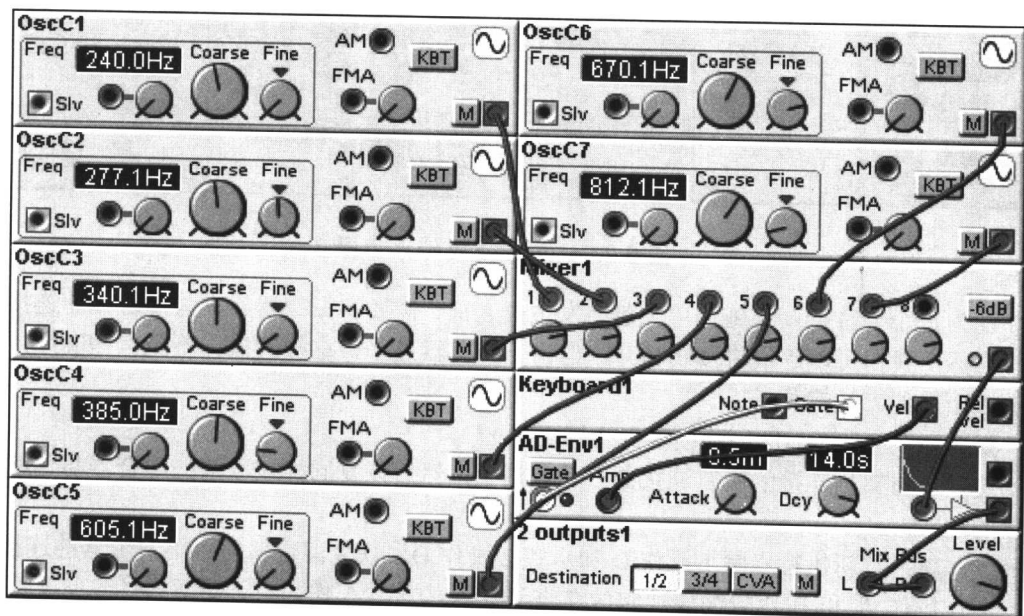


图 3.2.03 加法合成钟声步骤 2

读者也可以通过执行 GP13，文件名：Gong02.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

根据音色分析表明，钟声音色不仅有着动态的音色力度变化，还有动态的声谱内容变化，具体表现为声谱内容中各分音的振幅随时间的变化。

2. 获得声谱内容随时间变化

获得声谱内容随时间变化的方法有很多，对本例的钟声而言，我们是通过给声谱中每个分音施加单独的包络响应的办法，达到分音振幅随时间变化的目的的。

步骤 3:

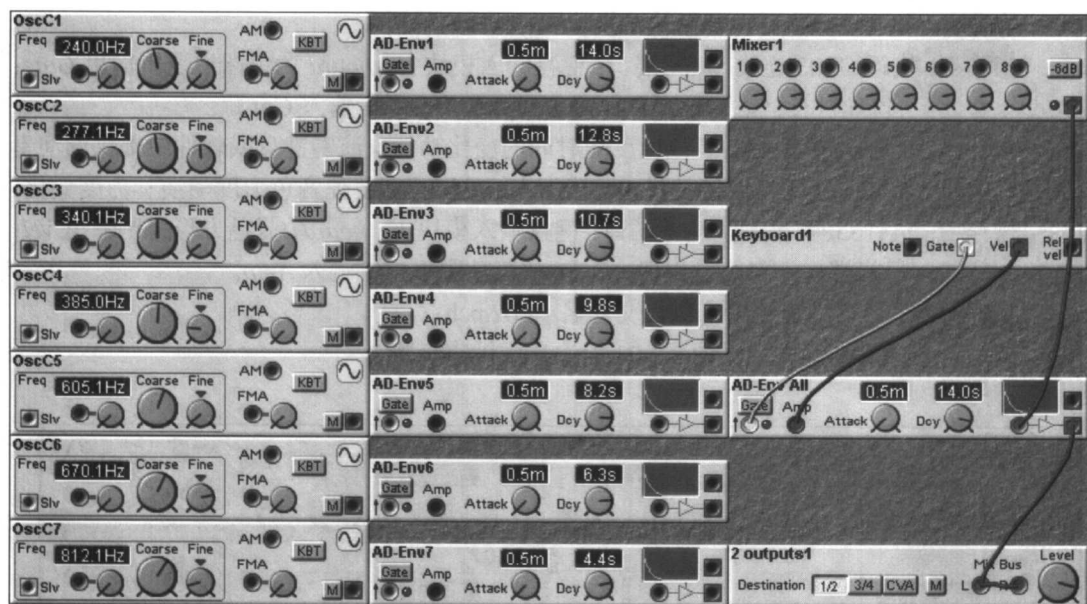


图 3.2.04 加法合成钟声步骤 3

在为每个分音振荡器施加单独包络发生器之前,需要将振荡器原来与混合器的连接断开。当然,我们可以逐根将接线断开,但由于振荡器过多,这样的操作不免有些麻烦,请跟随以下简便方法操作:

操作 A: 执行 GP02 删除模块混合器 *Mixer1*。

这样,与其相连接的所有连接都自动取消了,然后恢复同样被取消的混合器与包络发生器的连接:

操作 B: 重新执行步骤 1 操作 D 和步骤 2 操作 D,恢复混合器与包络发生器的连接。

通过操作 A 和 B 比较简便地完成 7 条连接线的去除工作。在调用更多的包络发生器之前,为了使新调用的包络发生器的名称编号与振荡器编号相同^①,我们需要将音色中已有的包络发生器重新命名:

操作 C: 左鼠标双击包络发生器模块 *AD-Env1* 左上角的名称 *AD-Env1*,在出现的输入框中键入新名称 *AD-Env All*^②后,回车确认。

下面为每个振荡器调用一个包络发生器,根据钟声分音的振幅包络特性,我们只需要调用仅包含触发和衰减阶段的包络发生器即可:

操作 D: 执行 7 次 GP01,调用 7 个包络发生器 *AD-Env*。

操作 E: 执行 7 次 GP05,按照表 3.2.02 中的规定,设定包络发生器 *AD-Env1* 至 *AD-Env7* 中 D 阶段的参数。

执行 GP17 另存当前编辑音色,文件名: *03.pch。

① Nord Modular 中按照模块的物理调用顺序给模块名称编号。

② 带下划线的斜体字表示 Nord Modular 中更改过的模块名称。

这时，各模块之间关系见图 3.2.04 加法合成钟声步骤 3：

读者也可以通过执行 GP13，文件名：Gong03.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

步骤 4：

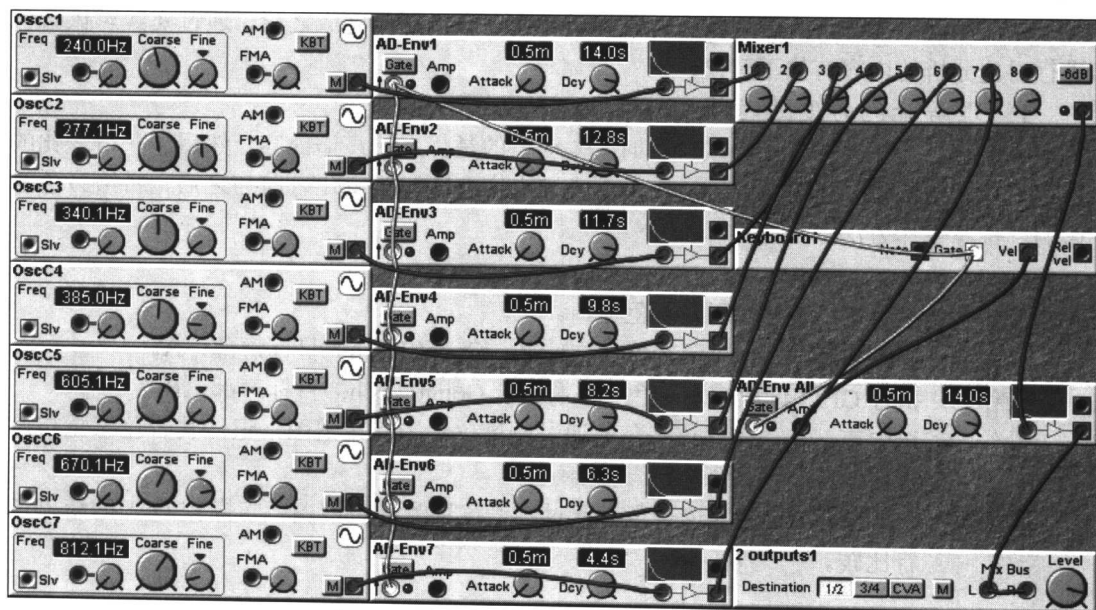


图 3.2.05 加法合成钟声步骤 4

下面完成各振荡器、包络发生器与混合器的音频信号连接：

操作 A：执行 7 次 GP03 连线，起始端口分别为：振荡器 *OscC1* 至 *OscC7* 红色方形音频输出；目标端口分别为：包络发生器 *AD-Env1* 至 *AD-Env7* 红色圆形音频输入。

操作 B：执行 7 次 GP03 连线，起始端口分别为：简单包络发生器 *AD-Env1* 至 *AD-Env7* 红色方形音频输出；目标端口分别为：混合器 *Mixer1* 红色圆形音频输入 1-7。

现在需要为每个单独的包络发生器添加触发逻辑信号。为了使该音色在编辑界面中，不至于由于连接过多而显得杂乱无章，我们这里采用串型连接方法为所有的独立包络发生器施加逻辑触发信号：

操作 C：执行 7 次 GP03 连线，起始端口：键盘输入模块 *Keyboard1* 黄色方形逻辑输出 *Gate*；目标端口按串型分布依次分别为：简单包络发生器 *AD-Env1* 至 *AD-Env7* 的黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：*04.pch。

这时，各模块之间关系见图 3.2.05 加法合成钟声步骤 4：

读者也可以通过执行 GP13，文件名：Gong04.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

执行 GP15 关闭所有音色窗口，然后按 Ctrl+U 只调用当前激活的音色^①。

至此，我们完成了通过 Nord Modular，采用加法合成原理合成钟声音色的工作。

四、音色讨论建议

针对加法合成的钟声音色特点，我们对大家在音色制作完成之后，通过实践对该音色进行讨论分析的内容有如下建议：

1. 理解音色力度随时间的变化对音色的影响

我们在用加法合成算法合成钟声时，先获得的是静态的声谱内容，然后才获得变化的声谱内容。我们可以通过实践，比较一下声谱内容在随时间变化之前与之后，带给音色的影响。推荐操作方法如下：

操作 A：执行 GP15 关闭所有音色窗口。

操作 B：执行 GP13 读取演示音色，文件名：Gong01.pch；目标声部：A。

操作 C：执行 GP13 读取演示音色，文件名：Gong02.pch；目标声部：B。

操作 D：选中声部 A，演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图，记住其音色感觉与声谱图形状。

操作 E：选中声部 B，演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图，与操作 D 中的结果进行比较。

通过比较我们发现，声部 A 中的音色，虽然声谱内容完全符合我们算法的要求，但听起来仍旧不完全像钟声；而声部 B 中的音色，即带有动态音色力度变化的音色听起来才有钟声的感觉。

2. 理解本例中的键盘跟踪功能

Nord Modular 的键盘跟踪功能可以使模块的参数随 MIDI 键盘录入的相应信息发生变化。就本例而言，由于我们对钟声分析的结果是固定频率，因此我们将每个振荡器的 KBT 功能关闭了，现在我们可以激活振荡器的 KBT 功能，比较前后两种情况的差异。建议操作方法如下：

操作 A：分别点击振荡器 OscC1 至 OscC7 中标有文字“KBT”的按钮 (取消键盘跟踪)，将其变为这个状态： (默认状态为具有键盘跟踪功能)。

操作 B：按不同音高演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图，记住其音色感觉与声谱图形状。

操作 C：分别点击振荡器 OscC1 至 OscC7 中标有文字“KBT”的按钮 (默认状态为具有键盘跟踪功能)，将其变为这个状态： (取消键盘跟踪)。

操作 D：按不同音高演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图，与操作 B 中的结果进行

^① 大家可以根据计算机的运转能力，自行决定该操作的执行与否。

比较。

经过比较不难发现,原始音色是关闭 KBT 功能的,因此无论演奏 MIDI 键盘上的哪个音,我们听到的音高只有一个。如果打开 KBT 功能,音色的音高就可以随 MIDI 键盘演奏音高的不同而产生相应的变化。

这时大家应该发现,打开 KBT 功能的音色,虽然可以演奏不同音高的钟声,但如果离原始音区过远的话,音色听起来会有变化,甚至有些不像钟声了,这正是为什么本例关闭了 KBT 功能的原因。

另外,有兴趣的读者还可以通过关闭或开启个别振荡器的 KBT 功能,按不同音高演奏音色时会得到有趣的音色感受。

练习题:

- 一. 观察获得音色力度随时间变化前后,音色波形及声谱的变化。
- 二. 以该音色为基础,利用所学的知识,合成一个铃铛音色,方法不限。

第3讲 加法合成中国罄音色

本讲中，我们将通过加法合成的方法，合成一个中国罄音色。

一、音色分析

本部分内容包括以下几个部分：首先对该音色进行特征描述、然后根据绘制的算法框图进行算法分析。

1. 音色特征描述

中国古代的罄和钟一样，一般也是铜等金属材质做成的。当我们敲击一个悬挂的罄时，整个罄的各个金属部位都在振动，由于各金属部位的位置、尺寸不同，造成罄声的声谱中包含大量分音。

分析表明，由于罄的材质及其特殊形状，大多数罄声的声谱都是不谐和声谱，且具有较长的延音时间，其中低频至高频分音的延音时间呈现出逐渐衰减的现象。

2. 绘制算法框图

根据以上音色分析，我们绘制出加法合成罄声的算法框图，见图 3.3.01 加法合成中国罄流程图：

参数	Fq1	Fq2	Fq3	Fq4	Fq5	Fq6	Fq7	Fq8	Fq9	Fq10	Fq11
取值	0.5612:1	0.5602:1	0.9199:1	0.9207:1	1.1903:1	1.17:1	2:1	2.7405:1	3:1	3.75:1	4.0692:1
参数	Amp1	Amp2	Amp3	Amp4	Amp5	Amp6	Amp7	Amp8	Amp9	Amp10	Amp11
取值	47	31	47	85	125	78	69	63	63	47	63

表 3.3.01 加法合成中国罄振荡器频率比及振幅参数

参数	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11
取值	3.1	2.8	2	1.6	0.962	1.1	0.738	0.619	0.476	0.308	0.219

表 3.3.02 加法合成中国罄包络发生器衰减时间(单位：秒)

3. 算法分析

按照图 3.3.01 中信号流程，我们对加法合成中国罄音色的操作步骤流程进行以下分析：

- 调用频率关系如表 3.3.01 中规定的，11 个正弦波振荡器 Osc1 至 Osc11。
- 各振荡器信号的输出大小不是统一的，有一定的比例关系(表 3.3.01)。
- 在将振荡器信号相加输出之前，为每个振荡器施加振幅包络控制。根据中国罄音色力度随时间变化的特点，这里选用了只包含触发和衰减两个阶段的简单包络发

生器 AD1 至 AD11。较长的衰减时间 D1 至 D11 体现中国磬音色延音较长的特征。从表 3.3.02 和 3.3.01 可以看出, 随着振荡器频率的增加, 包络发生器的衰减时间呈递减的趋势。

- 根据中国磬音色的力度变化特点, 我们选择经简单包络发生器 AD 将声音信号送出。参数 D 规定的时间, 与管理分音振幅包络发生器中, 最长的衰减时间 D1 相同, 3.1 秒。
- 相加在一起的输出信号受演奏力度影响, 跟随演奏力度的大小成比例变化

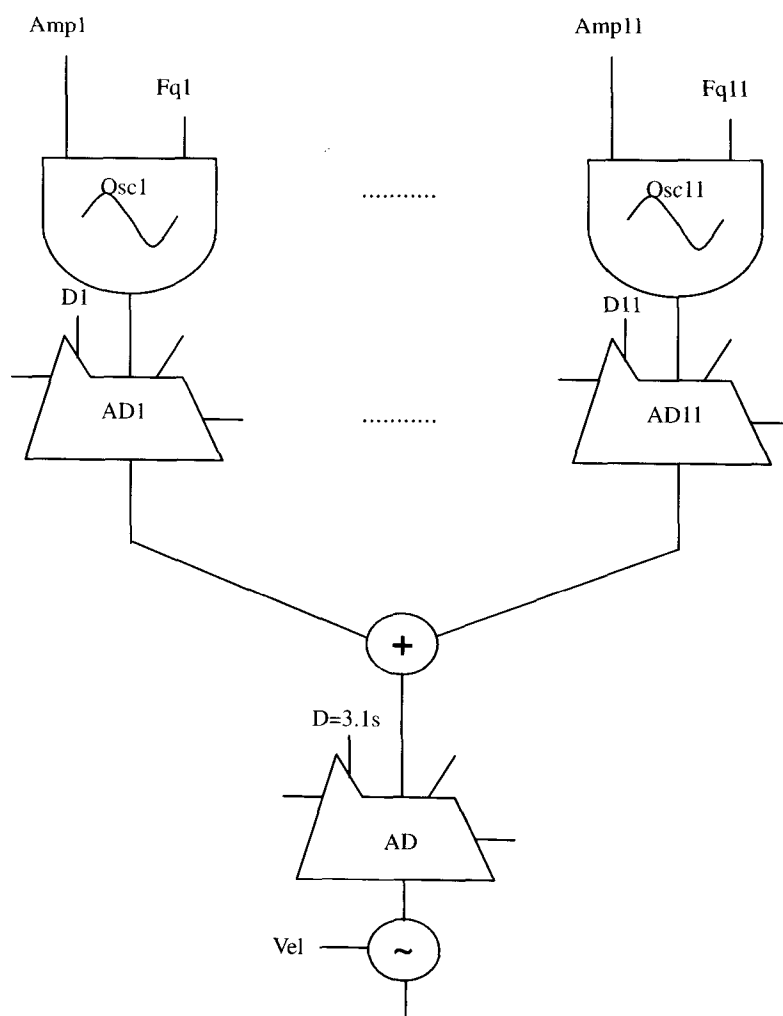


图 3.3.01 加法合成中国磬流程图

下面让我们根据音色分析的结果, 通过 Nord Modular, 按步骤完成加法合成中国磬音色的合成与制作工作。

二、获得静态声谱

获得静态声谱主要包括获得声源及对声谱进行修饰,就本例加法合成中国罄音色而言,主要是获得声源的任务。

执行 GP11^①做好系统准备;执行 GP15 关闭目前所有音色窗口;执行 GP12 新建一音色,目标声部:A。

步骤 1:

本例中需要十一个能够产生正弦波的振荡器,且各振荡器之间的频率非固定值,因此考虑节省资源,使用属振荡器 *OscSlvE*^②:

操作 A: 执行 GP01,调用主振荡器模块 *MasterOsc*。

操作 B: 执行 11 次 GP01,分别调用 11 个属振荡器模块 *OscSlvE*。

激活主振荡器对所有属振荡器的联动控制功能:

操作 C: 执行 11 次 GP03 连线,起始端口:振荡器 *MasterOsc1* 灰色方形 *Slv* 输出;目标端口按串型方式分别为:振荡器 *OscSlvE1* 至 *OscSlvE11* 灰色圆形 *Mst* 输入。

接下来需要对每个振荡器的频率进行设置:

操作 D: 执行 11 次 GP05,按照表 3.3.01 中的规定设置振荡器 *OscSlvE1* 至 *OscSlvE11* 的频率与主振荡器频率的比值。

与第二讲中合成钟声音色时一样,振荡器的输出信号需要混合器来相加。我们现在需要 11 路的输入能力,因此需要调用多个混合器模块。

操作 E: 执行 GP01,调用混合器模块 *8 inputs mixer*,自动名称为 *Mixer1*。

操作 F: 执行 2 次 GP01,分别调用 2 个混合器模块 *3 inputs mixer*,自动名称分别为 *Mixer2* 和 *Mixer3*。

这时,只要将振荡器 *OscSlvE1* 至 *OscSlvE8* 的输出信号送入 *Mixer1*;将振荡器 *OscSlvE9* 至 *OscSlvE11* 的输出信号送入 *Mixer2*;再将 *Mixer1* 和 *Mixer2* 的信号送入 *Mixer3* 即可完成将各振荡器的输出信号送入混合器中相加的任务:

操作 G^③: 执行 8 次 GP03 连线,起始端口分别为:振荡器 *OscSlvE1*-*OscSlvE8* 的红色方形音频输出;目标端口分别为:混合器 *Mixer1* 的红色圆形音频输入 1-8。

操作 H: 执行 3 次 GP03 连线,起始端口分别为:振荡器 *OscSlvE9*-*OscSlvE11* 的红色方形音频输出;目标端口分别为:混合器 *Mixer2* 的红色圆形音频输入 1-3。

操作 I: 执行 2 次 GP03 连线,起始端口分别为:混合器 *Mixer1* 和 *Mixer2* 的红色方形音频输出;目标端口分别为:混合器 *Mixer3* 的红色圆形音频输入 1 和 2。

Nord Modular 中振荡器模块没有设置振幅参数,因此我们也需要借助混合器来调整各振荡器的振幅:

操作 J: 执行 8 次 GP05,通过按表 3.3.01 中振荡器振幅参数的规定,调整混合器 *Mixer1*, 1-8 的信号输入值,达到确定振荡器 *OscSlvE1* 至 *OscSlvE8* 振幅值的目的。

① 有关编号为 GP# 的全局操作的具体步骤请参阅本书附录三。

② 使用斜体字表示的内容为 Nord Modular 中的模块名称或参数名称。

③ 为方便查找,我们将在未来步骤中有可能被重新执行的步骤编码上增加了方框标记。

操作 K: 执行 3 次 GP05, 通过按表 3.3.01 中振荡器振幅参数的规定调整混合器 *Mixer2*, *I-3* 的信号输入值, 达到确定振荡器 *OscSlvE9* 至 *OscSlvE11* 振幅值的目的。将相加后的信号送出, 以便听到声音, 首先需要调用音频输出模块, 然后将其与混合后的信号串连:

操作 L: 执行 GP01, 调用音频输出模块 *2 outputs*。

操作 M: 执行 GP03 连线, 起始端口为: 混合器 *Mixer3* 红色方形音频输出; 目标端口为: 音频输出模块 *2 outputs1* 红色圆形音频输入 L。

操作 N: 执行 GP03 连线, 起始端口为: 音频输出模块 *2 outputs1* 红色圆形音频输入 L; 目标端口: 音频输出模块 *2 outputs1* 红色圆形音频输入 R。

现在我们已经可以听到声音了。通过音频输出模块 *2 outputs1* 上的哑音开关(默认状态为解除状态 M)可以控制声音的送出与否。

执行 GP16 保存当前编辑音色, 文件名: *01.pch。

这时, 各模块之间关系见图 3.3.02 加法合成中国磬步骤 1:

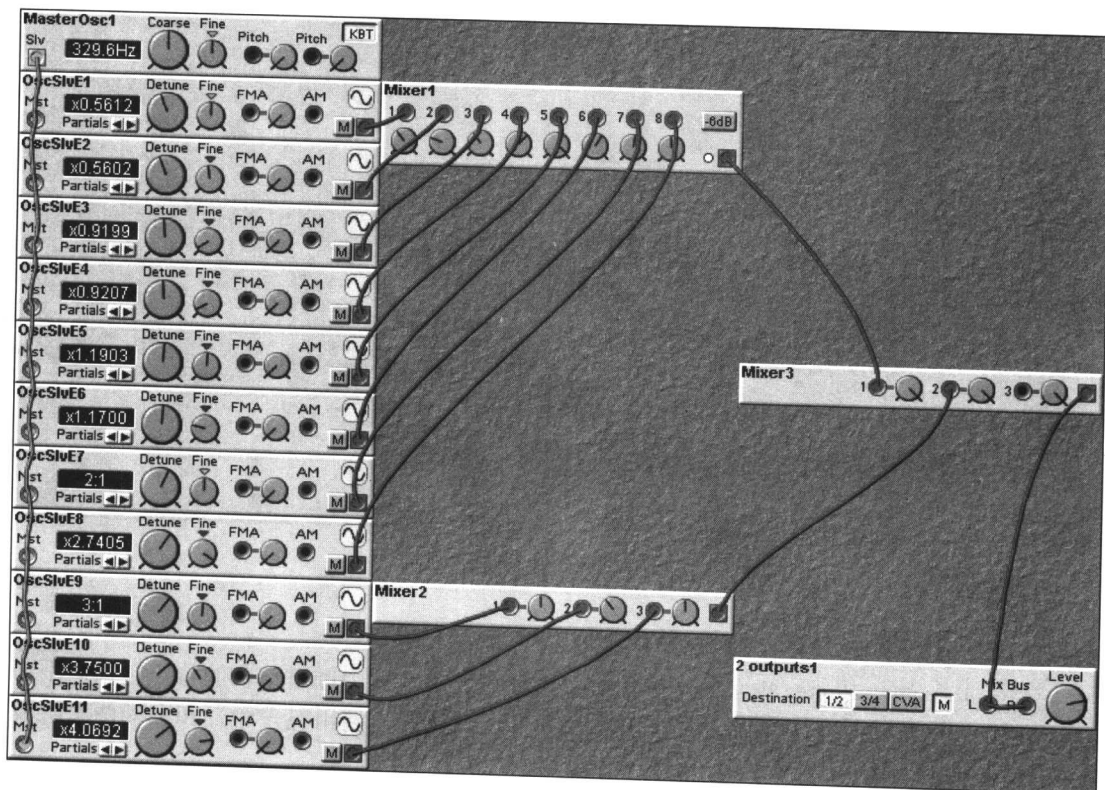


图 3.3.02 加法合成中国磬步骤 1

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: Qing01.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

至此,根据图 3.3.01 加法合成中国磬流程图,我们完成了中国磬声非谐和声谱的合成与制作,下面让我们完成中国磬声的延音效果——获得动态的声谱响应。

三、获得动态声谱

本例中获得动态声谱的任务包括获得动态的音色力度与声谱内容变化。

1. 获得音色力度随时间及演奏力度变化,

步骤 2:

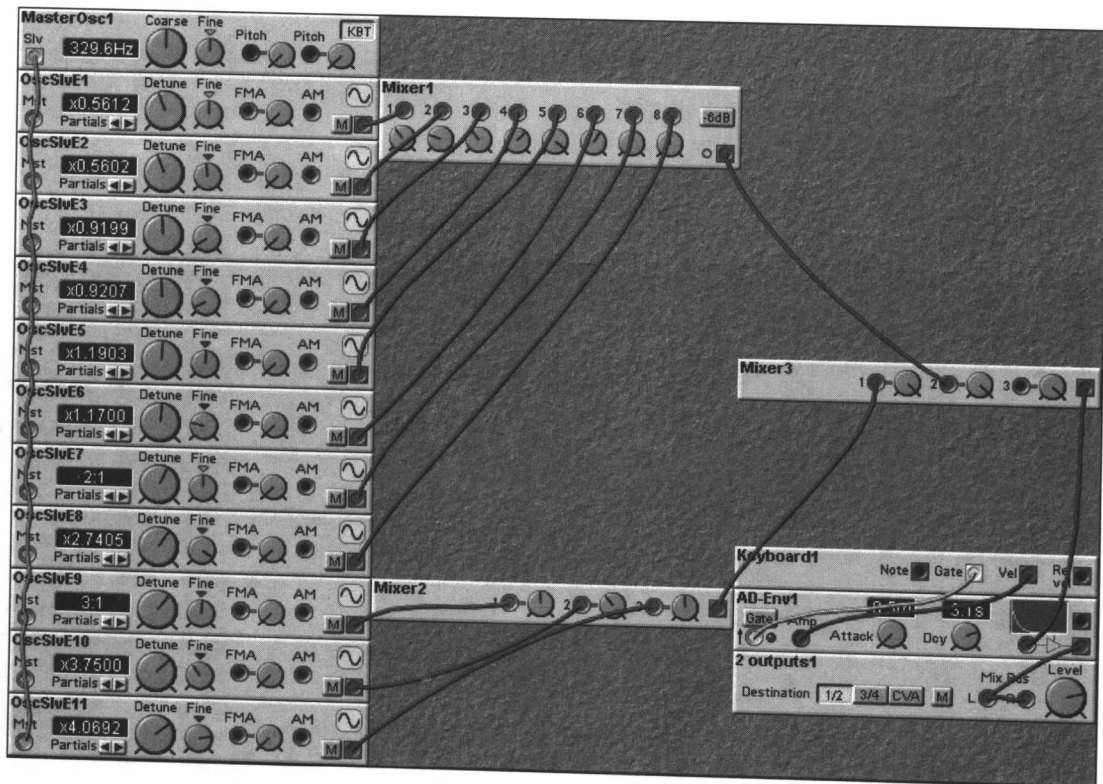


图 3.3.03 加法合成中国磬步骤 2

完成与时间相关的参数变化主要依靠包络发生器,根据中国磬声音的特点,我们不需要调用标准的,包含 ADSR 四个阶段的包络发生器,只需要调用包含触发和衰减两个阶段的包络发生器即可:

操作 A: 执行 GP01 调用包络发生器 *AD-Env*。

操作 B: 执行 GP05, 将包络发生器 *AD-Env1* 中的参数 *Dcy* 设定为 3.1 秒。

下面需要将混合器的信号通过包络发生器与音频输出模块相连接,首先应该去掉混合器原来与音频输出模块的连接:

操作 C: 执行 GP04 去掉步骤 1 操作 M 中的连线。

去掉原来的连接之后,进行新的连接:

操作 D: 执行 GP03 连线, 起始端口: 混合器 *Mixer3* 红色方形音频输出; 目标端口: 包络发生器 *AD-Env1* 红色圆形音频输入。

操作 E: 执行 GP03 连线, 起始端口: 包络发生器 *AD-Env1* 红色方形音频输出; 目标端口: 音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 *L*。

下面完成包络发生器与键盘输入模块的连接, 从键盘输入模块获得包络发生器的逻辑触发信号:

操作 F: 执行 GP01 调用键盘输入模块 *Keyboard*。

操作 G: 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 黄色方形逻辑输出 *Gate*; 目标端口: 包络发生器 *AD-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

至此, 我们获得了中国磬的音色力度, 随时间的变化功能, 演奏键盘或软件中提供的演奏工具, 就可以听到正确延音时间的中国磬音色。接下来, 我们还需要使其音色力度随演奏力度变化。

操作 H: 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Vel*; 目标端口: 包络发生器 *AD-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *02.pch。

这时, 各模块之间关系见图 3.3.03 加法合成中国磬步骤 2:

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: Qing02.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

根据音色分析表明, 中国磬音色不仅有着动态的音色力度变化, 还有动态的声谱内容变化, 具体表现为声谱内容中分音振幅随时间的变化。

2. 获得声谱内容随时间变化

获得分音振幅随时间变化的方法有很多, 对本例中国磬声而言, 我们是通过给声谱中每个分音施加单独的包络响应的办法, 控制分音振幅随时间的变化。

步骤 3:

在为每个分音振荡器施加单独包络发生器之前, 需要将振荡器原来与混合器的连接断开。由于振荡器的振幅参数是通过混合器来确定的, 因此这里不能采用第二讲中以删除混合器的方法简便地断开原有的连接, 必须逐根将接线断开:

操作 A: 执行 8 次 GP04 去掉步骤 1 操作 G 中的连线。

操作 B: 执行 3 次 GP04 去掉步骤 1 操作 H 中的连线。

在调用更多的包络发生器之前, 为了使新调用的包络发生器的名称编号与振荡器编号相同^①, 我们需要将音色中已有的包络发生器重新命名:

操作 C: 左鼠标双击包络发生器模块 *AD-Env1* 左上角的名称 *AD-Env1*, 在出现的输入框中键入新名称 *AD-Env All*^②后, 回车确认。

下面为每个振荡器调用一个包络发生器, 根据中国磬音色分音的振幅包络特性, 我们只需要调用仅包含触发和衰减阶段的包络发生器即可:

① Nord Modular 中按照模块的物理调用顺序给模块名称编号。

② 带下划线的斜体字表示 Nord Modular 中更改过的模块名称。

操作 D: 执行 11 次 GP01, 调用 11 个包络发生器 *AD-Env*。

操作 E: 执行 11 次 GP05, 按照表 3.3.02 中的规定, 设定包络发生器 *AD-Env1* 至 *AD-Env11* 中 D 阶段的参数。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *03.pch。

这时, 各模块之间关系见图 3.3.04 加法合成中国磬步骤 3:

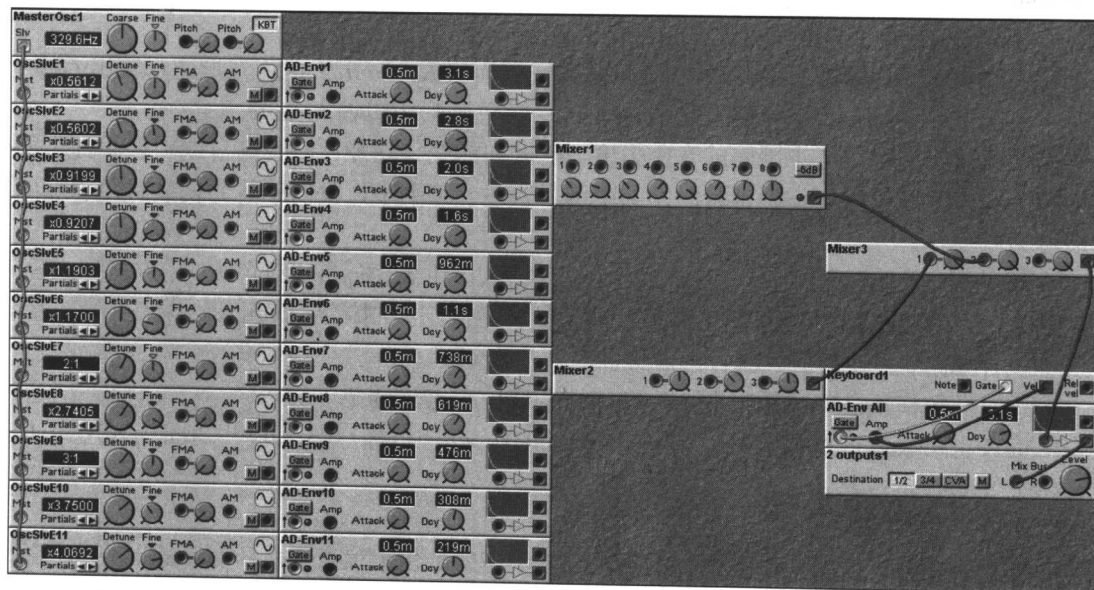


图 3.3.04 加法合成中国磬步骤 3

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: Qing03.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

步骤 4:

下面完成各振荡器、包络发生器与混合器的音频信号连接:

操作 A: 执行 8 次 GP03 连线, 起始端口分别为: 振荡器 *OscSlvE1* 至 *OscSlvE8* 红色方形音频输出; 目标端口分别为: 包络发生器 *AD-Env1* 至 *AD-Env8* 红色圆形音频输入。

操作 B: 执行 8 次 GP03 连线, 起始端口分别为: 简单包络发生器 *AD-Env1* 至 *AD-Env8* 红色方形音频输出; 目标端口分别为: 混合器 *Mixer1* 红色圆形音频输入 1-8。

操作 C: 执行 3 次 GP03 连线, 起始端口分别为: 振荡器 *OscSlvE9* 至 *OscSlvE11* 红色方形音频输出; 目标端口分别为: 包络发生器 *AD-Env9* 至 *AD-Env11* 红色圆形音频输入。

操作 D: 执行 3 次 GP03 连线, 起始端口分别为: 简单包络发生器 *AD-Env9* 至 *AD-Env11* 红色方形音频输出; 目标端口分别为: 混合器 *Mixer2* 红色圆形音频输入 1-3。

现在需要为每个单独的包络发生器添加触发逻辑信号。为了使该音色在编辑界面中, 不至于由于连接过多而显得杂乱无章, 我们这里采用串型连接方法为所有的独立包络发生

器施加逻辑触发信号:

操作 E: 执行 11 次 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 黄色方形逻辑输出 *Gate*; 目标端口按串型分布依次分别为: 简单包络发生器 *AD-Env1* 至 *AD-Env11* 的黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

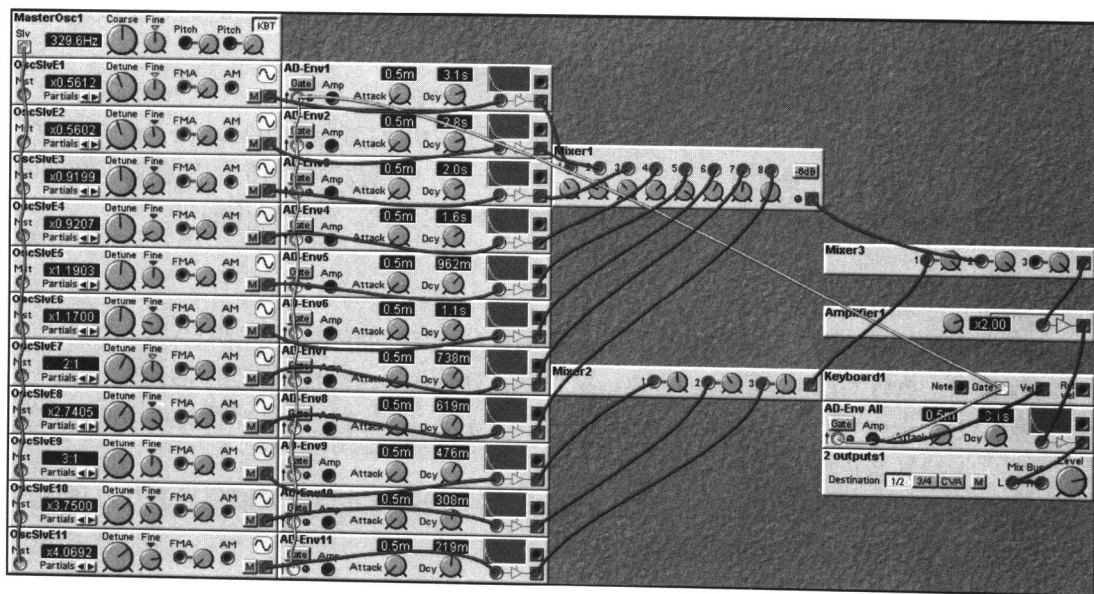


图 3.3.05 加法合成中国磬步骤 4

连接完毕后, 经过演奏验证一下声音效果, 发现总音频输出略显微弱, 需要进一步放大:

操作 F: 执行 GP01 调用信号放大模块 *Amplifier*。

操作 G: 执行 GP05 将信号放大模块 *Amplifier1* 的放大倍数参数设定为 2。

去掉原来混合器与总包络发生器(*AD-Env All*)的直接连接, 改为经由信号放大模块放大后再进行信号输出:

操作 H: 执行 GP04 去掉步骤 2 操作 D 中的连线。

操作 I: 执行 GP03 连线, 起始端口: 混合器 *Mixer3* 红色方形音频输出; 目标端口: 信号放大器模块 *Amplifier1* 红色圆形音频输入。

操作 J: 执行 GP03 连线, 起始端口: 信号放大器模块 *Amplifier1* 红色方形音频输出; 目标端口: 总包络发生器 *AD-Env All* 红色圆形音频输入。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *04.pch。

这时, 各模块之间关系见图 3.3.05 加法合成中国磬步骤 4:

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: Qing04.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

执行 GP15 关闭所有音色窗口，然后按 Ctrl+U 只调用当前激活的音色^①。

至此，我们完成了通过 Nord Modular，采用加法合成原理合成中国磬音色的工作。

四、音色讨论建议

针对加法合成的中国磬音色特点，我们对大家在音色制作完成之后，通过实践对该音色进行讨论分析的内容有如下建议：

1. 理解声谱内容随时间的变化对音色的影响

在本章第二讲音色分析建议中，我们体会了音色力度对音色的影响，在音色合成中，除了音色力度随时间的变化对音色有决定性影响之外，声谱内容随时间的变化对音色也有着非常重要的影响，在本例中体现为分音振幅随时间的变化。建议操作如下：

操作 A：执行 GP15 关闭所有音色窗口。

操作 B：执行 GP13 读取演示音色，文件名：Qing02.pch；目标声部：A。

操作 C：执行 GP13 读取演示音色，文件名：Qing04.pch；目标声部：B。

操作 D：选中声部 A，在音区 A5 附近演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图，记住其音色感觉与声谱图形状。

操作 E：选中声部 B，同样在音区 A5 左右演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图，与操作 D 中的结果进行比较。

操作 D 中的音色是没有获得动态声谱内容变化之前的音色，听起来更像铃铛声，而操作 E 中，获得了声谱内容随时间的变化后，声音才接近中国磬的音色。让我们进一步进行比较，建议操作如下：

操作 F：选中声部 A，在音区 A3 附近演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图，记住其音色感觉与声谱图形状。

操作 G：选中声部 B，同样在音区 A3 左右演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图，与操作 D 中的结果进行比较。

通过比较操作 F 和操作 G，更有趣的现象出现了。操作 F 中的音色听起来仍旧是铃铛的感觉，只不过音区比操作 D 中的低而已；但操作 G 中的音色不仅听起来不是铃铛，甚至听起来也不是我们的目的音色——中国磬。操作 D 中的音色听起来更像具有较好音高感觉的中国排鼓的声音！这表明，声谱内容随时间的变化对音色的感知有着至关重要的作用。

2. 理解本例中主振荡器对属振荡器的控制

主振荡器是占用较多资源，占主导地位的振荡器；属振荡器是占用较少资源，处从属地位的振荡器。本例中 11 个属振荡器并没有自己的频率值，只有与主振荡器的频率比。

^① 大家可以根据计算机的运转能力，自行决定该操作的执行与否。

但是它们都可以跟随主振荡器音高的改变而按照频率比规定的比例，做出相应的音高变化。建议操作如下：

操作 A：按不同音高演奏该音色。

操作 B：点击主振荡器 *MasterOsc1* 中标有文字“KBT”的按钮 (默认状态为具有键盘跟踪功能)，将其变为这个状态： (取消键盘跟踪)。

操作 C：按不同音高演奏该音色，并与操作 A 进行比较。

主振荡器具有 KBT 功能，而属振荡器没有，功能越多表示其占用的资源也越多^①；操作 A 中，我们演奏不同的音高即可获得相应的音色音高，操作 C 中则不能。经过比较操作 A 与操作 C 可以得出，虽然我们只关闭了主振荡器一个振荡器的 KBT 功能，系统中所有振荡器也都相应关闭了 KBT 功能，因为另外 11 个振荡器是属振荡器，它们可以在占用最少资源的情况下，跟随主振荡器变化。

练习题：

- 一. 比较观察高、中、低三个音区，中国磬音色波形及声谱的变化。
- 二. 将混合器各路输出设定为等值，观察这一操作前后，音色波形及声谱的变化。

^① Nord Modular 中的主振荡器 *MasterOsc*，是逻辑型的主振荡器，因此占用系统资源反而很少。

第4讲 加法合成电钢琴音色

本讲中,我们将通过加法合成的方法,合成一个简易的电钢琴(EP=Electric Piano)音色。

一、音色分析

本部分内容包括以下几个部分:首先对该音色进行特征描述、然后根据绘制的算法框图进行算法分析。

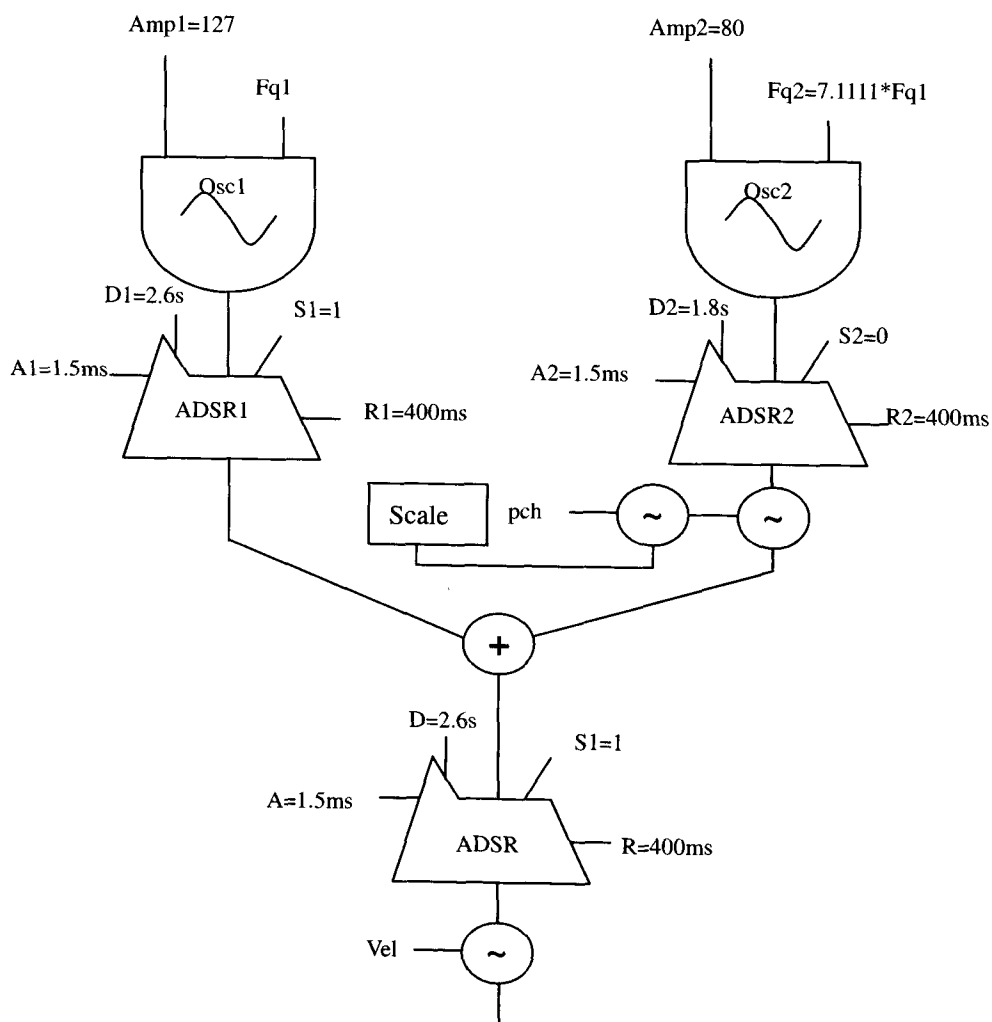


图 3.4.01 加法合成电钢琴流程图

1. 音色特征描述

钢琴在发声时, 声谱中存在大量的分音。音色力度按照特有的钢琴式的包络随时间产生变化, 且受演奏力度大小的影响。在钢琴音色发声过程中, 声谱中各分量也在发生变化。音色力度随时间与演奏力度变化; 声谱内容中分音振幅随时间变化之外, 还随演奏音高的不同而改变。我们在用加法合成电钢琴时, 无法照顾到所有分音成份, 况且本书中音色合成实践更是出于练习的目的, 因此本例中, 我们只利用电钢琴音色中最典型的分音成份进行电钢琴音色的加法合成实践。

2. 绘制算法框图

根据以上音色分析, 我们绘制出加法合电钢琴音色的算法框图, 见图 3.4.01 加法合成电钢琴流程图:

3. 算法分析

按照图 3.4.01 中信号流程, 我们对加法合成电钢琴音色的操作步骤流程进行以下分析:

- 调用频率关系如图 3.4.01 中规定的, 2 个正弦波振荡器 Osc1 和 Osc2。
- 各振荡器信号的输出大小(Amp)不是统一的, 有一定的比例关系(图 3.4.01)。
- 在将振荡器信号相加输出之前, 为每个振荡器施加振幅包络控制。根据电钢琴音色力度随时间变化的特点, 这里选用了标准包络发生器 ADSR1 和 ADSR2。D2 比 D1 小表明高频分音的衰减时间要比基频短。
- 根据电钢琴音色的力度变化特点, 我们选择经标准包络发生器 ADSR 将声音信号送出。其参数设置与加载于基频振荡器的包络发生器相同。
- 相加在一起的输出信号受演奏力度影响, 跟随演奏力度的大小成比例变化
- 控制振荡器 Osc2 振幅的包络发生器 ADSR2 的输出信号, 受按照 Scale 改变比例的演奏音高的影响, 随其不同而成比例地变化。

下面让我们根据音色分析的结果, 通过 Nord Modular, 按步骤完成加法合成电钢琴音色的合成与制作工作。

二、获得静态声谱

获得静态声谱主要包括获得声源及对声谱进行修饰, 就本例加法合成电钢琴音色而言, 主要是获得声源的任务。

执行 GP11^①做好系统准备; 执行 GP15 关闭目前所有音色窗口; 执行 GP12 新建一音色, 目标声部: A。

步骤 1:

本例中需要两个能够产生正弦波的振荡器, 且各振荡器之间的频率非固定值, 因此考虑节省资源, 使用属振荡器 *OscSlvE*^②:

操作 A: 执行 GP01, 调用主振荡器模块 *MasterOsc*。

① 有关编号为 GP# 的全局操作的具体步骤请参阅本书附录三。

② 使用斜体字表示的内容为 Nord Modular 中的模块名称或参数名称。

操作 B: 执行 2 次 GP01, 调用 2 个属振荡器模块 *OscSlvE*。

激活主振荡器对所有属振荡器的联动控制功能:

操作 C: 执行 2 次 GP03 连线, 启始端口: 振荡器 *MasterOsc1* 灰色方形 *Slv* 输出; 目标端口按串型方式分别为: 振荡器 *OscSlvE1* 和 *OscSlvE2* 灰色圆形 *Mst* 输入。接下来需要对每个振荡器的频率进行设置:

操作 D: 执行 2 次 GP05, 将振荡器 *OscSlvE1* 和 *OscSlvE2* 的频率与主振荡器频率的比值分别设定为 1:1、1:7.1111。

由于使用的属振荡器都具有单独的信号输出, 需要混合器来相加。我们现在需要 2 路的输入能力, 因此只需调用一个混合器模块:

操作 E: 执行 GP01, 调用混合器模块 *3 inputs mixer*。

这时, 只要将振荡器 *OscSlvE1* 和 *OscSlvE2* 的输出信号送入 *Mixer1*, 即可完成将各振荡器的输出信号, 送入混合器中相加的任务:

操作 F^①: 执行 2 次 GP03 连线, 启始端口分别为: 振荡器 *OscSlvE1* 和 *OscSlvE2* 的红色方形音频输出; 目标端口分别为: 混合器 *Mixer1* 的红色圆形音频输入 1 和 2。

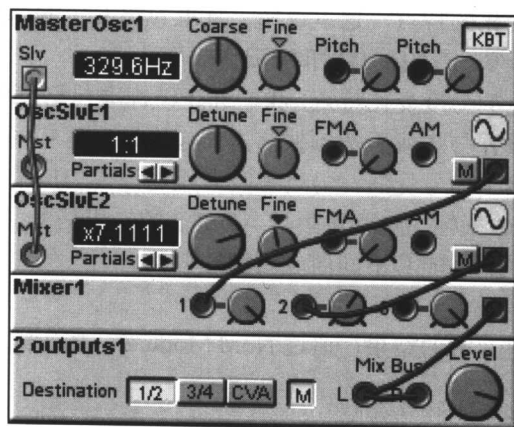


图 3.4.02 加法合成电钢琴步骤 1

Nord Modular 中振荡器模块没有设置振幅参数, 因此我们需要借助混合器来调整各振荡器的振幅, 达到确定振荡器 *OscSlvE1* 和 *OscSlvE2* 振幅值的目的:

操作 G: 执行 2 次 GP05, 将混合器 *Mixer1* 两路信号输入值分别设定为 127 和 80。

将相加后的信号送出, 以便听到声音, 首先需要调用音频输出模块, 然后将其与混合后的信号串连:

操作 H: 执行 GP01, 调用音频输出模块 *2 outputs*。

操作 I: 执行 GP03 连线, 启始端口为: 混合器 *Mixer1* 红色方形音频输出; 目标端口为: 音频输出模块 *2 outputs1* 红色圆形音频输入 L。

① 为方便查找, 我们将在未来步骤中有可能被重新执行的步骤编码上增加了方框标记。

操作 J: 执行 GP03 连线, 起始端口为: 音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 L;
目标端口: 音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 R。

现在我们已经可以听到声音了。通过音频输出模块 2 *outputs1* 上的哑音开关(默认状态为解除状态)可以控制声音的送出与否。

执行 GP16 保存当前编辑音色, 文件名: *01.pch。

这时, 各模块之间关系见图 3.4.02 加法合成电钢琴步骤 1:

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: Ep_add01.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

至此, 根据图 3.4.01 加法合成电钢琴流程图我们完成了电钢琴静态声谱内容的合成与制作, 下面让我们获得动态的电钢琴声谱响应。

三、获得动态声谱

本例中获得动态声谱的任务包括获得动态的音色力度与声谱内容变化。

1. 获得音色力度随时间及演奏力度变化

步骤 2:

完成与时间相关的参数变化主要依靠包络发生器, 根据电钢琴声音的特点, 我们需要调用标准的, 包含 ADSR 四个阶段的包络发生器:

操作 A: 执行 GP01 调用标准包络发生器 *ADSR-Env*。

操作 B: 执行 4 次 GP05, 将包络发生器 *ADSR-Env1* 中 A、D、S、R 各阶段的参数分别设定为 1.5 毫秒、2.6 秒、1、400 毫秒。

下面需要将混合器的信号通过包络发生器与音频输出模块相连接, 首先应该去掉混合器原来与音频输出模块的连接:

操作 C: 执行 GP04 去掉步骤 1 操作 I 中的连线。

去掉原来的连接之后, 进行新的连接。

操作 D: 执行 GP03 连线, 起始端口: 混合器 *Mixer1* 红色方形音频输出; 目标端口: 包络发生器 *ADSR-Env1* 红色圆形音频输入。

操作 E: 执行 GP03 连线, 起始端口: 包络发生器 *ADSR-Env1* 红色方形音频输出; 目标端口: 音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 L。

下面完成包络发生器与键盘输入模块的连接, 从键盘输入模块获得包络发生器的逻辑触发信号:

操作 F: 执行 GP01 调用键盘输入模块 *Keyboard*。

操作 G: 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 黄色方形逻辑输出 *Gate*;
目标端口: 包络发生器 *ADSR-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

至此, 我们获得了电钢琴的音色力度随时间的变化功能, 演奏键盘或软件中提供的演奏工具, 就可以听到基本正确的电钢琴音色。接下来, 我们还需要使其音色力度随演奏力度变化:

操作 H: 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Vel*;
目标端口: 包络发生器 *ADSR-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

Nord Modular 中, 默认状态下, 新建音色的发音数为 1, 而我们现在合成的电钢琴音色显然需要较多的发音数:

操作 1: 找到软件编辑器下拉式菜单下, 标示有发音数(Voices), 显示窗旁边带左右箭头的按钮, 将所需发音数调整为 8。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *02.pch。

这时, 各模块之间关系见图 3.4.03 加法合成电钢琴步骤 2:

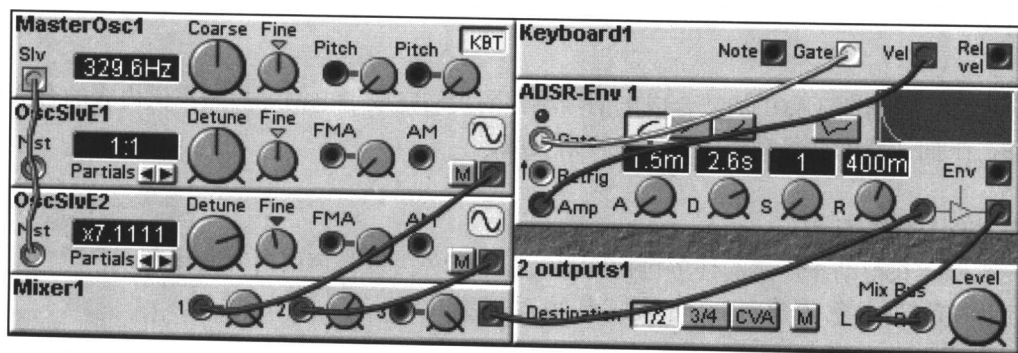


图 3.4.03 加法合成电钢琴步骤 2

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: EP_add 02.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

根据音色分析表明, 电钢琴音色不仅有着动态的音色力度变化, 还有动态的声谱内容变化, 首先表现为声谱内容中分音振幅随时间的变化。

2. 获得声谱内容随时间变化

获得分音振幅随时间变化的方法有很多, 对本例的电钢琴而言, 我们首先是通过给声谱中每个分音施加单独的振幅包络响应, 获得分音振幅随时间的变化。

步骤 3:

在为每个分音振荡器施加单独包络发生器之前, 需断开振荡器原来与混合器的连接。

操作 A: 执行 GP04 去掉步骤 1 操作 F 中的连线。

在调用更多的包络发生器之前, 为了使新调用的包络发生器的名称编号与振荡器编号相同^①, 我们需要将音色中已有的包络发生器重新命名:

操作 B: 左鼠标双击包络发生器模块 *ADSR-Env1* 左上角的名称 *ADSR-Env1*, 在出现的输入框中键入新名称 *ADSR-Env All*^②后, 回车确认。

下面为每个振荡器调用一个包络发生器, 根据电钢琴音色分音的振幅包络特性, 我们需要调用标准的 ADSR 包络发生器:

操作 C: 执行 2 次 GP01, 调用 2 个包络发生器 *ADSR-Env*, 自动名称分别为 *ADSR-Env1*

① Nord Modular 中按照模块的物理调用顺序给模块名称编号。

② 带下划线的斜体字表示 Nord Modular 中更改过的模块名称。

和 *ADSR-Env2*。

操作 D: 执行 4 次 GP05, 将包络发生器 *ADSR-Env1* 中 *A*、*D*、*S*、*R* 各阶段的参数设定为 1.5 毫秒、2.6 秒、1、400 毫秒。

操作 E: 执行 4 次 GP05, 将包络发生器 *ADSR-Env2* 中 *A*、*D*、*S*、*R* 各阶段的参数设定为 1.5 毫秒、1.8 秒、0、400 毫秒。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *03.pch。

这时, 各模块之间关系见图 3.4.04 加法合成电钢琴步骤 3:

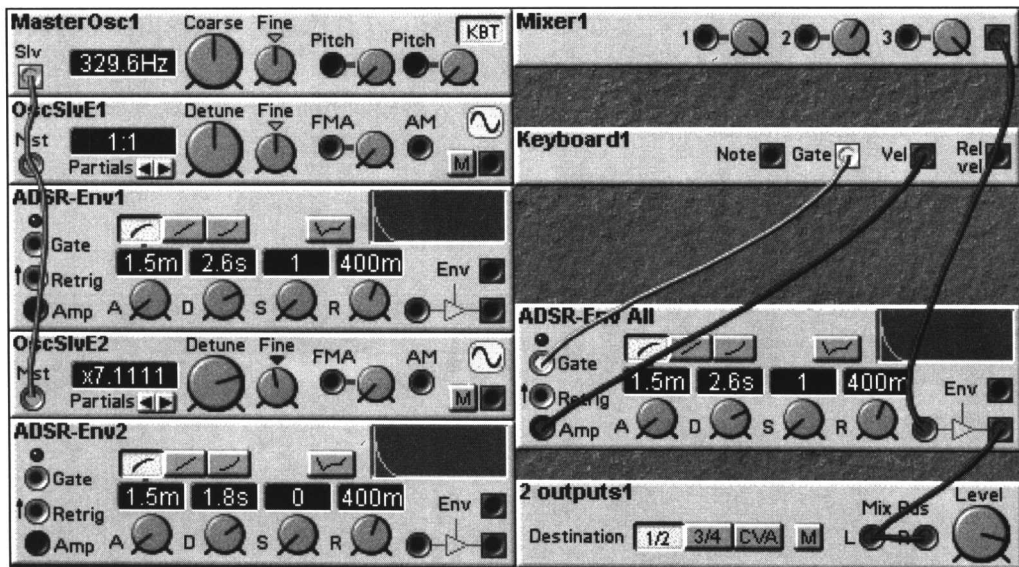


图 3.4.04 加法合成电钢琴步骤 3

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: EP_add 03.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

步骤 4:

下面完成各振荡器、包络发生器与混合器的音频信号连接:

操作 A: 执行 2 次 GP03 连线, 起始端口分别为: 振荡器 *OscSlvE1* 和 *OscSlvE2* 红色方形音频输出; 目标端口分别为: 包络发生器 *ADSR-Env1* 和 *ADSR-Env2* 红色圆形音频输入。

操作 B: 执行 2 次 GP03 连线, 起始端口分别为: 标准包络发生器 *ADSR-Env1* 和 *ADSR-Env2* 红色方形音频输出; 目标端口分别为: 混合器 *Mixer1* 红色圆形音频输入 1 和 2。

现在需要为每个单独的包络发生器添加触发逻辑信号。为了使该音色在编辑界面中, 不至于由于连接过多而显得杂乱无章, 我们这里采用串型连接方法为所有的独立包络发生器施加逻辑触发信号:

操作 C: 执行 2 次 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 黄色方形逻辑输

出 Gate; 目标端口按串型分布依次分别为: 标准包络发生器 *ADSR-Env1* 和 *ADSR-Env2* 的黄色圆形逻辑输入 Gate。

连接完毕后, 经过演奏验证一下声音效果, 发现总音频输出略显微弱, 需要放大:

操作 D: 执行 GP01 调用信号放大模块 *Amplifier*。

操作 E: 执行 GP05 将信号放大模块 *Amplifier1* 的放大倍数参数设定为 1.45。

去掉原来混合器与包络发生器的直接连接, 改为经由信号放大模块放大后再进行信号输出。

操作 F: 执行 GP04 去掉步骤 2 操作 D 中的连线。

操作 G: 执行 GP03 连线, 起始端口: 混合器 *Mixer1* 红色方形音频输出; 目标端口: 信号放大器模块 *Amplifier1* 红色圆形音频输入。

操作 H: 执行 GP03 连线, 起始端口: 信号放大器模块 *Amplifier1* 红色方形音频输出; 目标端口: 总包络发生器 *ADSR-Env All* 红色圆形音频输入。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *04.pch。

这时, 各模块之间关系见图 3.3.05 加法合成电钢琴步骤 4:

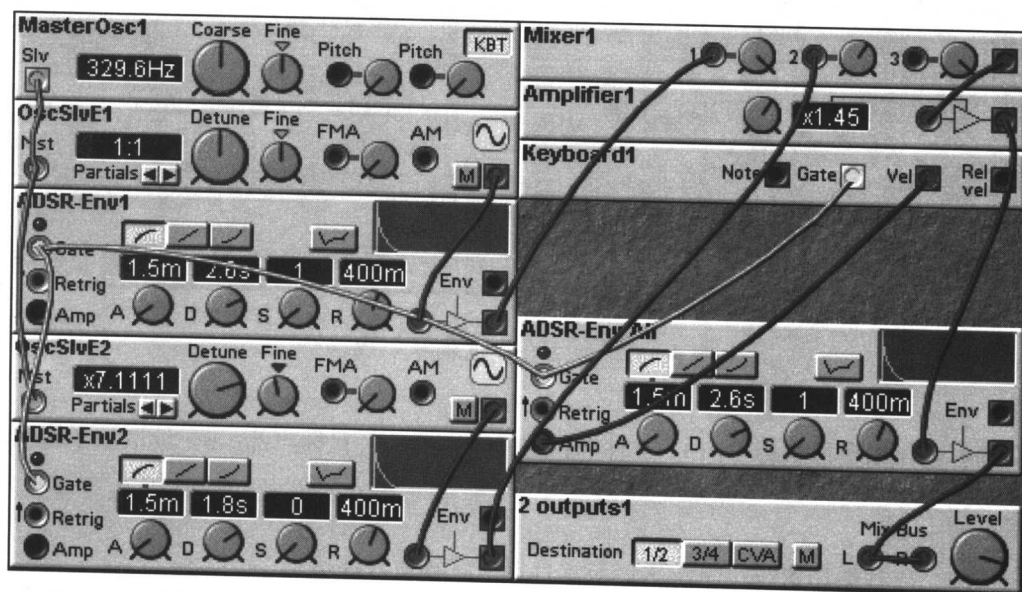


图 3.4.05 加法合成电钢琴步骤 4

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: EP_add04.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

根据音色分析, 电钢琴声谱内容不仅随时间变化, 还随演奏音高的不同而不同。具体体现为分音振幅随演奏音高的变化。根据图 3.4.01 所示, 本例中采用使分音振荡器的振幅随演奏音高变化的方法, 获得声谱内容随演奏音高的变化。

3. 获得声谱内容随演奏音高变化

步骤 5:

Nord Modular 中获得声谱内容随演奏音高变化的方法有很多, 本例是通过用键盘输入模块采集到的演奏音高信息, 调制与分音振荡器相连的包络发生器来实现的:

操作 A: 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Note*;
目标端口: 包络发生器 *ADSR-Env2* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *05.pch。

这时, 各模块之间关系见图 3.3.06 加法合成电钢琴步骤 5:

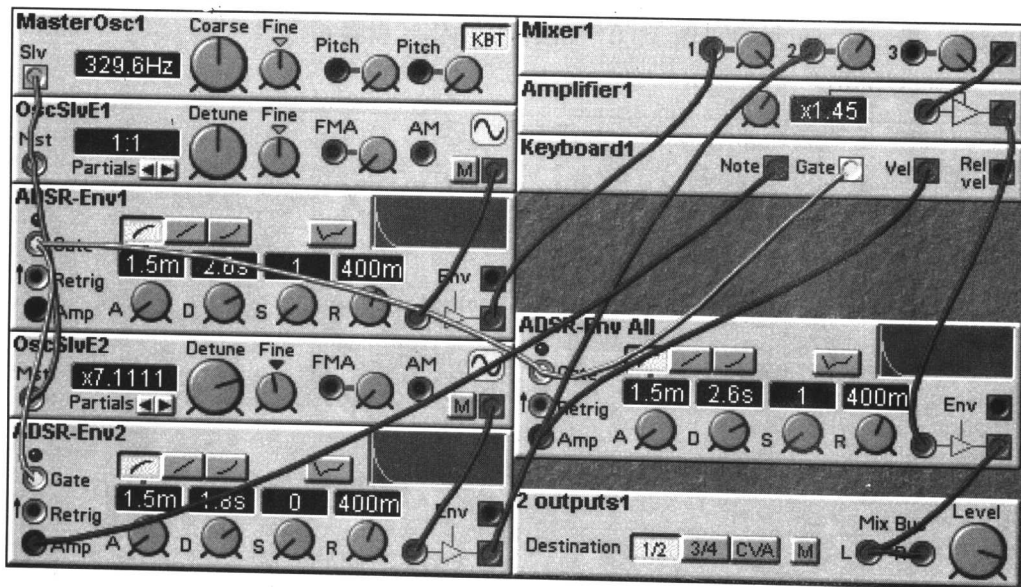


图 3.4.06 加法合成电钢琴步骤 5

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: EP_add05.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

至此, 我们通过让演奏音高影响振荡器 *OscSlvE2* 振幅的方法, 获得了通过演奏音高控制声谱内容的功能。下面需要进一步扩大在低音区, 音高对声谱内容的影响。

步骤 6:

借助音符力度比例模块扩大低音区音高对声谱内容的影响:

操作 A: 执行 GP01 调用音符力度比例模块 *NoteVelScal*。

降低音符力度比例模块中, 音高分割点 E4(默认值)左边音高的比例:

操作 B: 执行 GP05 将音符力度比例模块 *NoteVelScal1* 的音高分割点 E4(默认值)左边音高的比例增益参数 *L Gain* 设定为 -12db。

在将音高力度比例模块纳入系统之前, 需要断开原来键盘输入模块的音高信息与控制振荡器 *OscSlvE2* 振幅的包络发生器 *ADSR-Env2* 的连接:

操作 C: 执行 GP04 去掉步骤 5 操作 A 中的连线。

通过音高力度比例模块将键盘输入模块与振荡器 *ASDR-Env2* 相连接:

操作 D: 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Note*;
目标端口: 音高力度比例模块 *NoteVelScal1* 蓝色圆形控制输入 *Note*。

操作 E: 执行 GP03 连线, 起始端口: 音高力度比例模块 *NoteVelScal1* 蓝色方形控制输出 *Note*; 目标端口: 包络发生器 *ASDR-Env2* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

按照需要重新调整演奏力度对声谱内容的影响后, 整体音色的信号需要进一步放大:

操作 F: 执行 GP05 将信号放大模块 *Amplifier1* 的放大倍数参数设定为 2。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *06.pch。

这时, 各模块之间关系见图 3.3.07 加法合成电钢琴步骤 6:

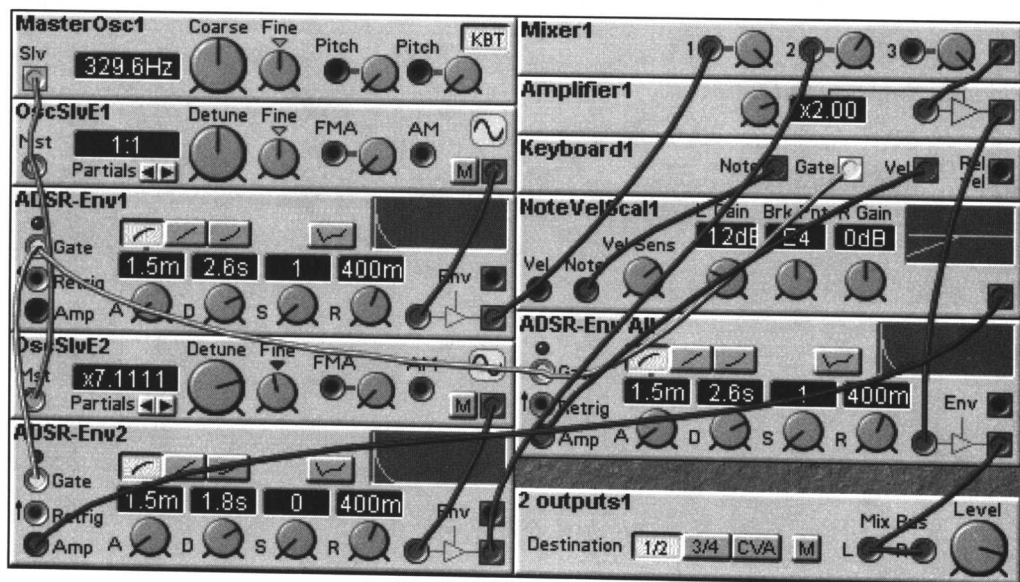


图 3.4.07 加法合成电钢琴步骤 6

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: EP_add06.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

执行 GP15 关闭所有音色窗口, 然后按 Ctrl+U 只调用当前激活的音色^①。

至此, 我们完成了通过 Nord Modular, 采用加法合成原理合成电钢琴音色的工作。

四、音色讨论建议

针对加法合成的电钢琴音色特点, 我们对大家在音色制作完成之后, 通过实践对该音色进行讨论分析的内容有如下建议:

1. 理解声谱内容随音高的变化对音色的影响

^① 大家可以根据计算机的运转能力, 自行决定该操作的执行与否。

我们在用加法合成原理合成电钢琴音色的过程中,在获得和进一步修饰了声谱内容随音高的变化之前(步骤 4),所合成的音色基本上反映出了电钢琴的音色特征,但是略有缺憾。让我们通过实践体会该现象,建议操作如下:

操作 A: 执行 GP15 关闭所有音色窗口。

操作 B: 执行 GP13 读取演示音色,文件名: EP_add04.pch; 目标声部: A。

操作 C: 选择声部 A,在 MIDI 键盘或利用编辑器提供的键盘工具,用该音色由高音区至低音区演奏任何一和弦的琶音。

从操作 C 中不难发现,低音区的音高感觉不对,换言之低音区似乎不准!造成这样的原因是人耳对振幅的感知是非线性的^①。因此,虽然这时振荡器 *OscSivE1* 的声音并不小,但由于比其高 7 倍左右的振荡器 *OscSivE2* 的音高在心理听觉上占主导地位,因此实际音高被误导了。解决这个问题就是设法在低音区降低振荡器 *OscSivE2* 的绝对振幅。换言之就是让声谱内容中的分音振幅随演奏音高发生变化。在以后的合成过程中(步骤 5 和步骤 6),我们通过将键盘输入模块采集到的音高信息,经过音高力度比例模块加工后,让加工后的音高信息影响振荡器 *OscSivE2* 的振幅响应。获得音高对声谱内容的影响后,我们克服了上述缺憾,建议操作如下:

操作 D: 执行 GP13 读取演示音色,文件名: EP_add06.pch; 目标声部: B。

操作 E: 选择声部 B,在 MIDI 键盘或利用编辑器提供的键盘工具,用该音色由高音区至低音区演奏任何一和弦的琶音,与操作 C 进行比较。

采用降低误导音高振荡器振幅的办法虽然可以使音高误差消失,但其实带来了另一个问题,低音区的音色感知与高音区出现了较大差异,甚至有点不像电钢琴音色了。解决这个问题的方法有很多,其中之一就是不仅让声谱中分音所占的声学能量随演奏音高变化,而且还要让分音的频率随演奏音高变化。就本例而言,具体做法就是通过演奏音高,调制 *OscSivE2* 的频率与主振荡器频率的比值。关于声谱分音的频率随演奏音高变化的其它方法,将在第四章第 8 讲中介绍。

2. 理解本例包络发生器中的衰减曲线

大家是否注意到,在本例 ADSR 包络发生器的参数 A 和 D 上方,有三个这样的按钮: (对数曲线)、 (线性)和 (指数曲线)。它们分别表示包络发生器的衰减曲线类型为对数^②型、线性和指数型。它们在实践中到底是什么效果呢?让我们通过实例体会一下不同衰减曲线的作用。建议操作如下:

操作 A: 执行 GP15 关闭所有音色窗口。

操作 B: 执行 GP13 读取演示音色,文件名: EP_add06.pch; 目标声部: A。

① 有关音乐心理声学中对振幅的感知规律请参阅相关专业书籍。

② 有关线性、指数、对数曲线等概念请参阅相关数学书籍。

操作 C: 执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *.pch(只要不与操作 B 中音色名或其它任何已存在音色文件名相同即可)。

操作 D: 执行 GP15 关闭所有音色窗口。

操作 E: 执行 GP13 读取演示音色, 文件名: *.pch; 目标声部: A。

操作 F: 执行 GP13 读取演示音色, 文件名: EP_add06.pch; 目标声部: B。

操作 G: 选择声部 A, 点击包络发生器 *ADSR-Env1* 上的按钮  (默认状态), 使其变为这个状态: 。将该包络发生器的衰减曲线变成指数型。

操作 H: 选择声部 A, 按不同音高演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图, 记住其音色感觉与声谱图形状。

操作 I: 选择声部 B, 按不同音高演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图, 与操作 H 进行比较。

由于包络发生器 *ADSR-Env1* 的触发阶段时间很短, 只有 15 毫秒, 因此当其按照指数曲线增长时, 由于受硬件速率或软件算法的影响, 产生了一个轻微的“咔”声, 我们利用这一点给这个用加法合成方法制作的电钢琴音色, 增加了一个模拟钢琴下键那一刹那, 机械连动系统产生的噪声。通过比较操作 H 和操作 I 可以发现, 原始音色(声部 B)中没有这个声音, 而改过包络发生器衰减曲线的音色(声部 A)中有。

另外, 包络发生器上还有一个按钮  (翻转), 其作用是可以将目前包络发生器的衰减曲线翻转过来。让我们利用这个功能给音色增加一些有趣的效果, 操作如下:

操作 J: 选择声部 A, 点击包络发生器 *ADSR-Env2* 上的按钮  (默认状态), 使其变为这个状态: 。将该包络发生器的衰减曲线翻转。

操作 K: 选择声部 A, 按不同音高演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图。

操作 L: 执行 GP16 保存当前编辑音色。

通过操作 K 我们可以感受到, 将其中一振荡器的包络发生器衰减曲线翻转后的, 本来同另一个振荡器一样, 基本按照同样的衰减曲线进行振幅变化, 与另一个振荡器共同构成典型电钢琴音色感受的 *OscShvE2*, 它产生的分音成份从整合的声谱内容中游离出来了, 可以被独立地感受到, 使整个音色听起来更像一个复合音色。通过翻转包络发生器的衰减曲线, 给音色带来了有趣的音响效果。

练习题:

- 一. 观察高音区和低音区, 电钢琴音色波形及声谱的差异。
- 二. 试按照本讲音色讨论建议中提供的思路, 实现演奏音高控制分音频率的效果。

第 5 讲 加法合成风琴音色

本讲中，我们将通过加法合成的方法，合成一个风琴(Organ)音色。

一、音色分析

本部分内容包括以下几个部分：首先对该音色进行特征描述、然后根据绘制的算法框图进行算法分析。

1. 音色特征描述

电子风琴是最早通过电子合成方式产生的人工音色之一。根据大量的对风琴音色的声学分析实践得知，风琴音色中包含丰富的声谱内容，体现出一定的非谐和性；风琴音色的力度随时间的变化比较简单，带给人的听觉感受是比较平直；另外，风琴音色大都带有自然颤音。

2. 绘制算法框图

根据以上音色分析，我们绘制出加法合成风琴的算法框图，见图 3.5.01 加法合成风琴音色流程图：

参数	Fq1	Fq2	Fq3	Fq4	Fq5	Fq6
取值	1:1	2.9953:1	4.0018:1	5.9932:1	7.9964:1	10.084:1
参数	Amp1	Amp2	Amp3	Amp4	Amp5	Amp6
取值	127	91	107	60	123	63

表 3.5.01 加法合成风琴音色振荡器频率比及振幅参数

3. 算法分析

按照图 3.5.01 中信号流程，我们对加法合成风琴音色的操作步骤流程分析如下：

- 调用频率关系如表 3.5.01 中规定的，6 个正弦波振荡器 Osc1 至 Osc6。
- 各振荡器信号的输出大小(Amp)不是统一的，有一定的比例关系(表 3.5.01)。
- 根据风琴音色的力度变化特点，我们选择经标准包络发生器 ADSR 将声音信号送出。
- 相加在一起的输出信号受演奏力度影响，跟随演奏力度的大小成比例变化
- 各振荡器的频率受低频振荡器的调制量为 29，决定振荡器音高改变的幅度；振荡器在低频振荡器的作用下以每秒 6.85 次的频率产生音高变化，带给音色的效果是自然颤音。

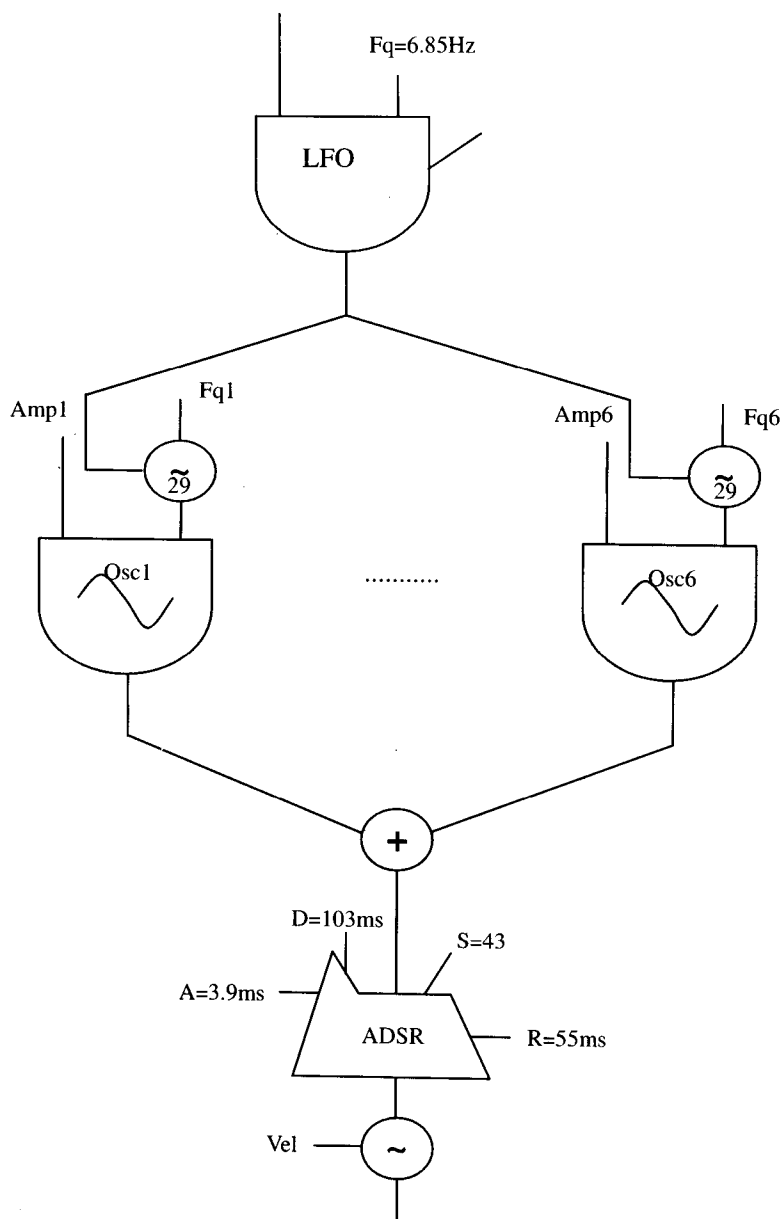


图 3.5.01 加法合成风琴音色流程图

下面让我们根据音色分析的结果，通过 Nord Modular，按步骤完成加法合成风琴音色的合成与制作工作。

二、获得静态声谱

获得静态声谱主要包括获得声源及对声谱进行修饰，就本例加法合成风琴音色而言，主要是获得声源的任务。

执行 GP11^①做好系统准备；执行 GP15 关闭目前所有音色窗口；执行 GP12 新建一音色，目标声部：A。

步骤 1：



图 3.5.02 加法合成风琴步骤 1

本例中需要六个能够产生正弦波的振荡器，各振荡器之间的频率非固定值，且无需随时间改变声谱内容，即不需要单独的振荡器输出，因此考虑节省资源，使用属振荡器 *OscSineBank*^②：

操作 A：执行 GP01，调用主振荡器模块 *MasterOsc*。

操作 B：执行 GP01，调用属振荡器模块 *OscSineBank*。

激活主振荡器对属振荡器的连动控制功能：

操作 C：执行 GP03 连线，起始端口：振荡器 *MasterOsc1* 灰色方形 *Slv* 输出；目标端口：振荡器 *OscSineBank1* 灰色圆形 *Mst* 输入。

接下来需要对每个振荡器的频率进行设置：

操作 D：执行 6 次 GP05，按照表 3.5.01 中的规定，设置振荡器 *OscSineBank1* 中的子振荡器 *Osc1* 至 *Osc6* 的频率与主振荡器频率的比值。

Nord Modular 中属振荡器 *OscSineBank* 具有调整每个子振荡器输出大小的功能，我们可以通过此功能来调整各振荡器的振幅：

操作 E：执行 6 次 GP05，通过按表 3.5.01 中振荡器振幅参数的规定，调整振荡器 *OscSineBank1* 中各子振荡器 *Osc1* 至 *Osc6* 的输出信号 *Level*。

将相加后的信号送出，以便听到声音，首先需要调用音频输出模块，然后将其与振荡器的输出信号相连接：

操作 F：执行 GP01，调用音频输出模块 *2 outputs*。

① 有关编号为 GP# 的全局操作的具体步骤请参阅本书附录三。

② 使用斜体字表示的内容为 Nord Modular 中的模块名称或参数名称。

操作 G^①: 执行 GP03 连线, 起始端口为: 振荡器 *OscSindBank1* 红色方形音频输出;
目标端口为: 音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 *L*。

操作 H: 执行 GP03 连线, 起始端口为: 音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 *L*;
目标端口为: 音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 *R*。

现在我们已经可以听到声音了。通过音频输出模块 2 *outputs1* 上的哑音开关(默认状态为解除状态)可以控制声音的送出与否。

执行 GP16 保存当前编辑音色, 文件名: *01.pch。

这时, 各模块之间关系见图 3.5.02 加法合成风琴步骤 1:

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: Organ_add01.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

至此, 根据图 3.5.01 加法合成风琴音色流程图, 我们完成了风琴音色静态声谱内容的合成与制作, 下面让我们完成风琴音色动态的声谱响应。

三、获得动态声谱

就本例而言, 获得动态声谱的任务包括获得动态的音色力度随时间的变化和音色力度随演奏力度的变化。

步骤 2:

完成与时间相关的参数变化主要依靠包络发生器, 根据风琴声音的特点, 我们需要调用标准的包含 ADSR 四个阶段的包络发生器:

操作 A: 执行 GP01 调用包络发生器模块 *ADSR-Env*。

操作 B: 执行 4 次 GP05, 将包络发生器 *ADSR-Env1* A、D、S、R 各阶段的参数分别设定为 3.9 毫秒、103 毫秒、43、55 毫秒。

下面需要将混合器的信号通过包络发生器与音频输出模块相连接, 首先应该去掉混合器原来与音频输出模块的连接:

操作 C: 执行 GP04 去掉步骤 1 操作 G 中的连线。

去掉原来的连接之后, 进行新的连接。

操作 D: 执行 GP03 连线, 起始端口: 振荡器 *OscSindBank1* 红色方形音频输出; 目标端口: 包络发生器 *ADSR-Env1* 红色圆形音频输入。

操作 E: 执行 GP03 连线, 起始端口: 包络发生器 *ADSR-Env1* 红色方形音频输出; 目标端口: 音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 *L*。

下面完成包络发生器与键盘输入模块的连接, 从键盘输入模块获得包络发生器的逻辑触发信号:

操作 F: 执行 GP01 调用键盘输入模块 *Keyboard*。

操作 G: 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 黄色方形逻辑输出 *Gate*;
目标端口: 包络发生器 *ADSR-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

至此, 我们获得了风琴音色的音色力度随时间的变化功能, 演奏键盘或软件中提供的

① 为方便查找, 我们将在未来步骤中有可能被重新执行的步骤编码上增加了方框标记。

演奏工具，就可以听到正确延音时间风琴音色。接下来，我们还需要使其音色力度随演奏力度变化。

操作 H: 执行 GP03 连线，起始端口：键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Vel*；
目标端口：包络发生器 *AD-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：*02.pch。

这时，各模块之间关系见图 3.5.03 加法合成风琴步骤 2：

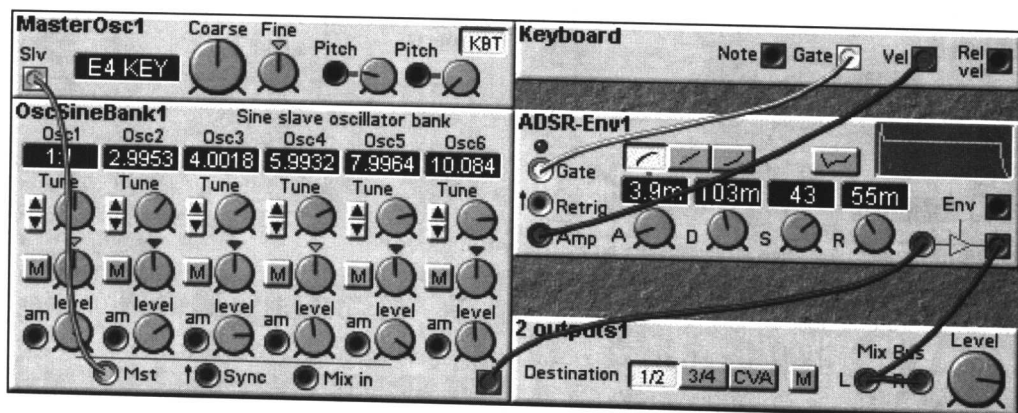


图 3.5.03 加法合成风琴步骤 2

读者也可以通过执行 GP13，文件名：Organ_add02.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

至此，一个风琴音色的面貌已经基本展现在我们面前。根据分析，风琴音色大都具有自然颤音现象，我们需要通过电子方式，给加法合成的风琴音色添加自然颤音效果，也就是本书中称之为后音色修饰的工作之一。

四、后音色修饰

后音色修饰包括很多内容，就本音色而言，后音色修饰部分的主要工作是为风琴音色添加自然颤音效果。

步骤 3:

根据图 3.5.01 中所示，实现自然颤音效果主要依靠低频振荡器，根据本例的特点，我们调用较节省资源的主低频振荡器 *LFOC*：

操作 A: 执行 GP01 调用主低频振荡器 *LFOC*。

按照图 3.5.01 中所示，设定低频振荡器的频率参数，以决定颤音速率：

操作 B: 执行 GP05 将低频振荡器 *LFOC1* 的频率参数 *Rate* 设定为 6.85Hz。

根据图 3.5.01 中，低频振荡器分别需要和各个振荡器连接，由于本例中采用了主振荡器对属振荡器的控制，因此只需将低频振荡器与主振荡器连接即可。该振荡器有两个这样的输入端子，任选择一个都可以，本例中选择了靠左边的输入端子：

操作 C: 执行 GP03 连线, 起始端口: 低频振荡器 *LFOC1* 蓝色方形控制输出; 目标端口: 主振荡器 *MasterOsc1* 靠左边的蓝色圆形控制输入 *Pitch*。

调整发声振荡器的音高调制参数, 以决定颤音幅度(颤音之间的音程关系)

操作 D: 执行 GP05 将主振荡器 *MasterOsc1* 靠左边的音高调制参数 *Pitch* 设定为 29。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *03.pch。

这时, 各模块之间关系见图 3.5.04 加法合成风琴步骤 3:

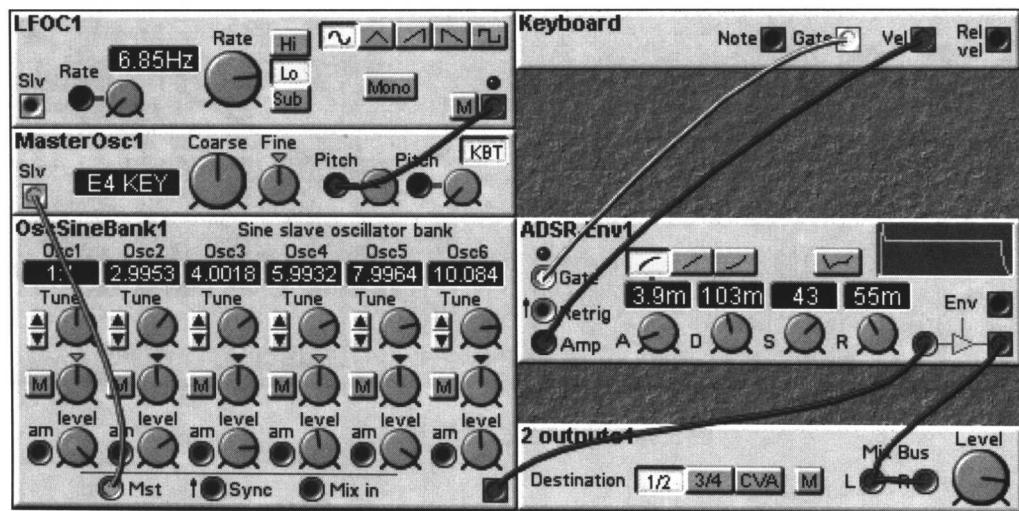


图 3.5.04 加法合成风琴步骤 3

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: Organ_add03.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

执行 GP15 关闭所有音色窗口, 然后按 Ctrl+U 只调用当前激活的音色^①。

至此, 我们完成了通过 Nord Modular, 采用加法合成原理合成风琴音色的工作。

五、音色讨论建议

针对加法合成的风琴音色特点, 我们对大家在音色制作完成之后, 通过实践对该音色进行讨论分析的内容有如下建议:

1. 理解声谱内容对音色的影响

在 Nord Modular 进行风琴音色的加法合成时, 我们选用的振荡器与本章第一讲中, 加法合成理论音色时一样, 都选择了属振荡器的一种——正弦振荡器库。不仅如此, 两个音色在算法及其它模块的调用方面也极其相似。为什么如此相近的合成步骤, 产生的音色感受完全不同呢? 主要原因就是两个音色的声谱内容完全不同, 具体而言是声谱中各分音的

^① 大家可以根据计算机的运转能力, 自行决定该操作的执行与否。

频率不同。下面让我们通过实践比较,进一步感受声谱内容对音色的影响,建议操作如下:

操作 A: 执行 GP15 关闭所有音色窗口。

操作 B: 执行 GP13 读取演示音色, 文件名: FiveSine.pch; 目标声部: A。

操作 C: 执行 GP13 读取演示音色, 文件名: Organ_add.pch; 目标声部: B。

操作 D: 选择声部 B, 执行 GP02 删除低频振荡器 *LFOC1*。

操作 E: 选择声部 A, 观察该音色在软件编辑器中的连接, 然后选择声部 B 进行比较。

通过以上步骤, 我们获得了在算法及模块连接上完全一样的两个音色。为加强对比较效果, 我们将两音色除振荡器外的其它参数设定为相同参数值, 然后进一步比较。

操作 F: 选择声部 A, 执行 4 次 GP06, 恢复包络发生器 ADSR-Env1 中 A、D、S、R 各阶段的参数。

操作 G: 选择声部 B, 执行 4 次 GP06, 恢复包络发生器 ADSR-Env1 中 A、D、S、R 各阶段的参数。

操作 H: 选择声部 A, 按不同音高演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图, 记住其音色感觉与声谱图形状。

操作 I: 选择声部 B, 按不同音高演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图, 与操作 H 进行比较。

经过比较操作 H 与操作 I 不难发现, 两个算法及连接方式完全一样的音色, 具有完全不同的音色感受。从现在两个音色在软件编辑器中的图示来看, 唯一的不同就是两音色振荡器的频率和振幅参数不同。而振荡器频率与振幅的参数, 在加法合成中决定声谱的内容。由此可见, 音色的声谱内容对其音色的感知有着至关重要的作用。

2. 理解本例中获得自然颤音的方法

下面, 让我们通过实践操作, 进一步了解 Nord Modular 中实现音色自然颤音的方法。首先, 颤音速率是通过控制低频振荡器的频率参数获得的。建议操作如下:

操作 A: 执行 GP15 关闭所有音色窗口。

操作 B: 执行 GP13 读取演示音色, 文件名: Organ_add.pch; 目标声部: A。

操作 C: 执行 GP07, 将低频振荡器 *LFOC1* 频率参数 *Rate* 的外部控制源设置为 Nord Modular 面板控制旋钮 1。

操作 D: 边演奏该音色, 边旋转控制旋钮 1, 聆听音响效果。

通过以上操作可以发现, 随着低频振荡器 *LFOC1* 频率参数 *Rate* 的增大, 颤音效果的颤音速率就加快, 反之则减慢。

其次, 颤音幅度是通过控制发声振荡器音高调制参数的量进行控制的, 建议操作如下:

操作 E: 执行 GP07, 将主振荡器 *MasterOsc1* 靠左边的音高调制参数 *Pitch* 的外部控制源设置为 Nord Modular 面板控制旋钮 2。

操作 F: 边演奏该音色, 边旋转控制旋钮 2, 聆听音响效果。

通过以上操作, 在保持颤音速率不变的情况下, 增大 *MasterOsc1* 靠左边的音高调制参数 *Pitch*, 导致的结果是获得更大的颤音幅度, 反之则减少颤音幅度, 直至没有。这一点值得提醒大家注意, 在通过低频振荡器获得自然颤音效果时, 即使低频振荡器的频率设定得很适宜, 如果颤音幅度为 0 的话, 仍旧听不到颤音效果。

对音色的颤音效果来说, 除了颤音速率和颤音幅度这两个重要参数来说, 还有一个重要参量——颤音深度。有关如何在 Nord Modular 中控制音色的颤音深度, 及如何通过外部物理控制器控制颤音深度的实践问题, 我们将在以后的章节中加以介绍。

练习题:

- 一. 比较观察带自然颤音和不带自然颤音效果时, 风琴音色波形及声谱的异同。
- 二. 按照本讲中为声音添加自然颤音的原理, 给本章第 1 讲中的理论音色添加自然颤音。

第6讲 加法合成宇宙飞船音色

本讲中，我们将通过加法合成的方法，合成一个宇宙飞船(Star Ship)音色。

一、音色分析

本部分内容包括以下几个部分：首先对该音色进行特征描述、然后根据绘制的算法框图进行算法分析。

1. 音色特征描述

宇宙飞船音色其实是自然界不存在的声音。人们根据飞行器在空气中高速飞行时产生的声音，加上人为的想像，人工合成了所谓的宇宙飞船音色。飞行器与空气摩擦出声音基本属于噪音范畴，因此本例中通过加法合成方法合成宇宙飞船声音时，采用了频率非常相近的多个振荡器，模拟类似噪声的非谐和声谱；同时，由于频率非常接近，造成的拍音效果成为典型的宇宙飞船音质；另外，本例还通过动态的声谱内容变化，模拟了宇宙飞船由近至远的假想飞行声音。

2. 绘制算法框图

根据以上音色分析，我们绘制出加法合成宇宙飞船的算法框图，见图 3.6.01 加法合成宇宙飞船音色流程图：

参数	Fq1	Fq2	Fq3	Fq4	Fq5	Fq6
取值	400	404.6	409.4	422.9	439	484

表 3.6.01 加法合成宇宙飞船发声振荡器频率(单位: Hz)

3. 算法分析

按照图 3.6.01 中信号流程，我们对加法合成宇宙飞船音色的操作步骤流程进行以下分析：

- 调用频率关系如表 3.6.01 中规定的，6 个正弦波振荡器 Osc1 至 Osc6。频率非常相近造成的拍音，是典型的宇宙飞船音色特征。
- 根据宇宙飞船音色的力度变化特点，我们选择经标准包络发生器 ADSR 将声音信号送出。
- 相加在一起的输出信号受演奏力度影响，跟随演奏力度的大小成比例变化
- 各振荡器的音高受低频振荡器影响的调制量为 127，表明振荡器音高将在低频振荡器的作用下以每 20 秒 1 次的频率产生很大幅度的音高变化。带来的最终音响效果可以模拟宇宙飞船由近至远的飞行效果。

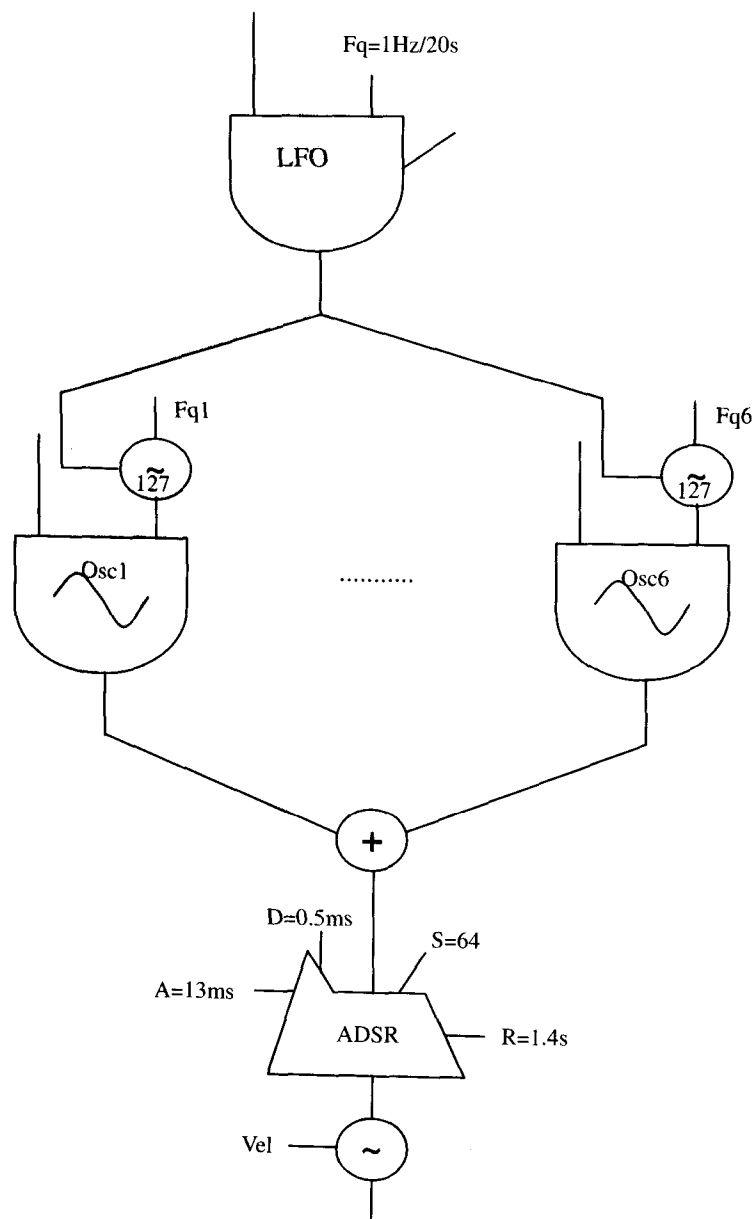


图 3.6.01 加法合成宇宙飞船音色流程图

下面让我们根据音色分析的结果，通过 Nord Modular，按步骤完成加法合成宇宙飞船音色的合成与制作工作。

二、获得静态声谱

获得静态声谱主要包括获得声源及对声谱进行修饰，就本例加法合成宇宙飞船音色而言，主要是获得声源的任务。

执行 GP11^①做好系统准备；执行 GP15 关闭目前所有音色窗口；执行 GP12 新建一音色，目标声部：A。

步骤 1：

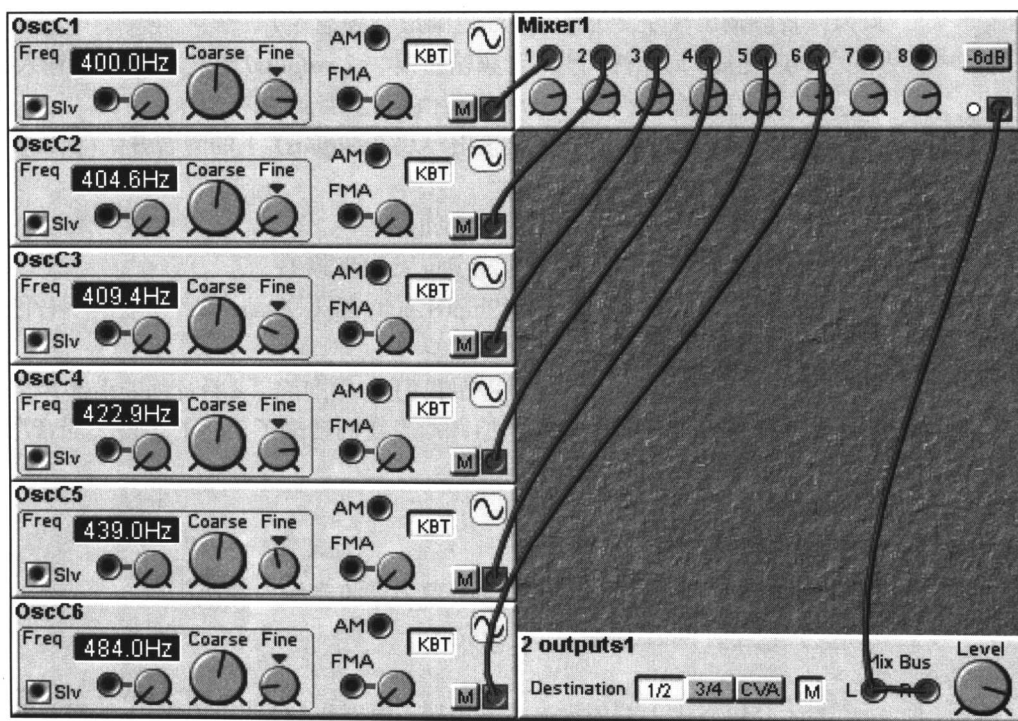


图 3.6.02 加法合成宇宙飞船步骤 1

考虑到本例中需要六个能够产生正弦波的振荡器，各振荡器之间的频率是固定值，因此建议使用主振荡器 *OscC*：

操作 A：执行 6 次 GP01，分别调用 6 个主振荡器模块 *OscC*^②。

接下来需要对每个振荡器的频率进行设置：

操作 B：执行 6 次 GP05，按照表 3.6.01 中的规定设置振荡器 *OscC1* 至 *OscC6* 的频率值。

振荡器的输出信号需要混合器来相加。我们现在需要 6 路的输入能力，因此只需调用一个混合器模块即可：

操作 C：执行 GP01，调用混合器模块 *8 inputs mixer*。

这时，只要将振荡器 *OscC1* 至 *OscC6* 的输出信号送入 *Mixer* 即可完成将各振荡器的输出信号送入混合器中相加的任务：

操作 D：执行 6 次 GP03 连线，起始端口分别为：振荡器 *OscC1*-*OscC6* 的红色方形音频输出；目标端口分别为：混合器 *Mixer1* 的红色圆形音频输入 1-6。

将相加后的信号送出，以便听到声音，首先需要调用音频输出模块，然后将其与混合

① 有关编号为 GP# 的全局操作的具体步骤请参阅本书附录三。

② 使用斜体字表示的内容为 Nord Modular 中的模块名称或参数名称。

后的信号串连：

操作 E：执行 GP01，调用音频输出模块 2 *outputs*。

操作 F^①：执行 GP03 连线，起始端口为：混合器 *Mixer1* 红色方形音频输出；目标端口为：音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 *L*。

操作 G：执行 GP03 连线，起始端口为：音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 *L*；目标端口：音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 *R*。

现在我们已经可以听到声音了。通过音频输出模块 2 *outputs1* 上的哑音开关(默认状态为解除状态)可以控制声音的送出与否。

执行 GP16 保存当前编辑音色，文件名：*01.pch。

这时，各模块之间关系见图 3.6.02 加法合成宇宙飞船步骤 1：

读者也可以通过执行 GP13，文件名：StarShip01.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

至此，根据图 3.6.01 加法合成宇宙飞船流程图我们完成了宇宙飞船音色非谐和声谱的合成与制作，各频率非常相近的振荡器造成的拍音，为我们带来了典型的宇宙飞船音质。下面让我们完成宇宙飞船音色动态的声谱响应。

三、获得动态声谱

本例中获得动态声谱的任务包括获得动态的音色力度与声谱内容变化。

1. 获得音色力度随时间及演奏力度变化

步骤 2：

完成与时间相关的参数变化主要依靠包络发生器，根据我们假想的宇宙飞船声音的特点，我们需要调用标准的包含 ADSR 四个阶段的包络发生器：

操作 A：执行 GP01 调用包络发生器 *ADSR-Env*。

操作 B：执行 4 次 GP05，将包络发生器 *ADSR-Env1* 中 *A*、*D*、*S*、*R* 各阶段的参数分别设定为 13 毫秒、0.5 毫秒、64、1.4 秒。

下面需要将混合器的信号通过包络发生器与音频输出模块相连接，首先应该去掉混合器原来与音频输出模块的连接：

操作 C：执行 GP04 去掉步骤 1 操作 F 中的连线。

去掉原来的连接之后，进行新的连接：

操作 D：执行 GP03 连线，起始端口：混合器 *Mixer1* 红色方形音频输出；目标端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 红色圆形音频输入。

操作 E：执行 GP03 连线，起始端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 红色方形音频输出；目标端口：音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 *L*。

下面完成包络发生器与键盘输入模块的连接，从键盘输入模块获得包络发生器的逻辑触发信号：

操作 F：执行 GP01 调用键盘输入模块 *Keyboard*。

操作 G：执行 GP03 连线，起始端口：键盘输入模块 *Keyboard1* 黄色方形逻辑输出 *Gate*；

① 为方便查找，我们将在未来步骤中有可能被重新执行的步骤编码上增加了方框标记。

目标端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

至此，我们获得了宇宙飞船音色的音色力度随时间的变化功能，演奏键盘或软件中提供的演奏工具，就可以听到宇宙飞船的音色。接下来，我们还需要使其音色力度随演奏力度变化：

操作 H： 执行 GP03 连线，起始端口：键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Vel*；

目标端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：**02.pch*。

这时，各模块之间关系见图 3.6.03 加法合成宇宙飞船步骤 2：

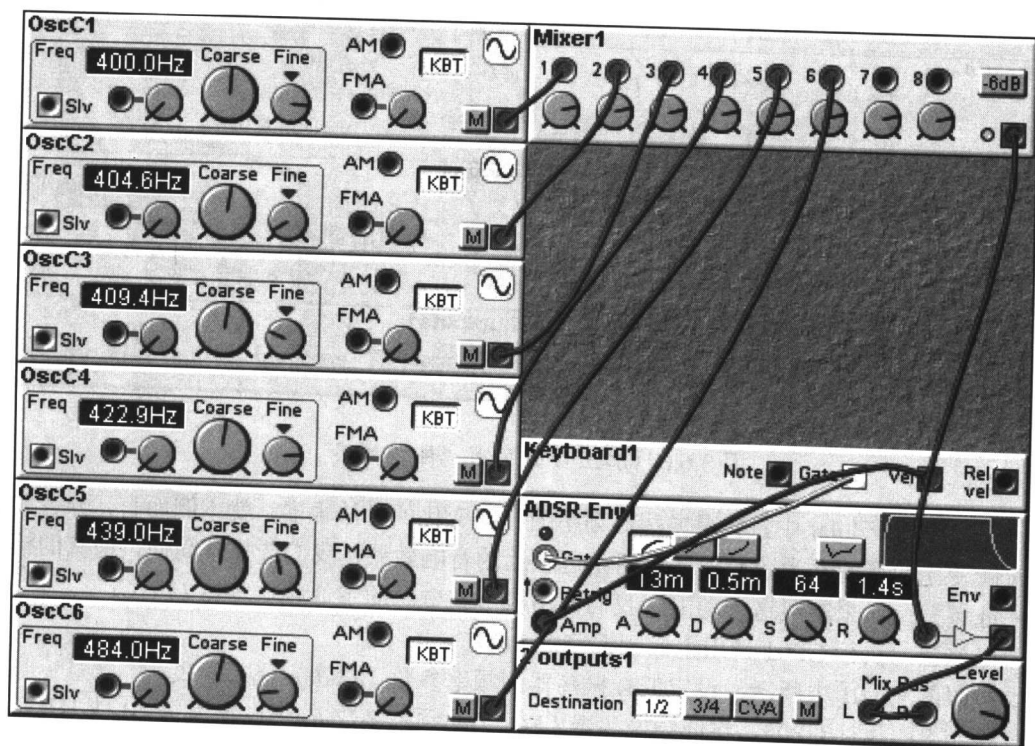


图 3.6.03 加法合成宇宙飞船步骤 2

读者也可以通过执行 GP13，文件名：*StarShip02.pch*；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

根据音色分析，模拟宇宙飞船由近至远的飞行假想效果，不仅需要动态的音色力度变化，还有动态的声谱内容变化，具体表现为声谱内容中各分音频率随时间的变化。

2. 获得声谱内容随时间变化

获得声谱内容随时间变化的方法有很多，前面许多例题中，我们是通过给声谱中每个分音施加单独的包络响应的办法，随时间改变各分音的振幅，达到声谱内容随时间变化的目的。就本例而言，我们需要采用另一种方法，让各分音的频率一起随时间产生变化。

步骤 3:

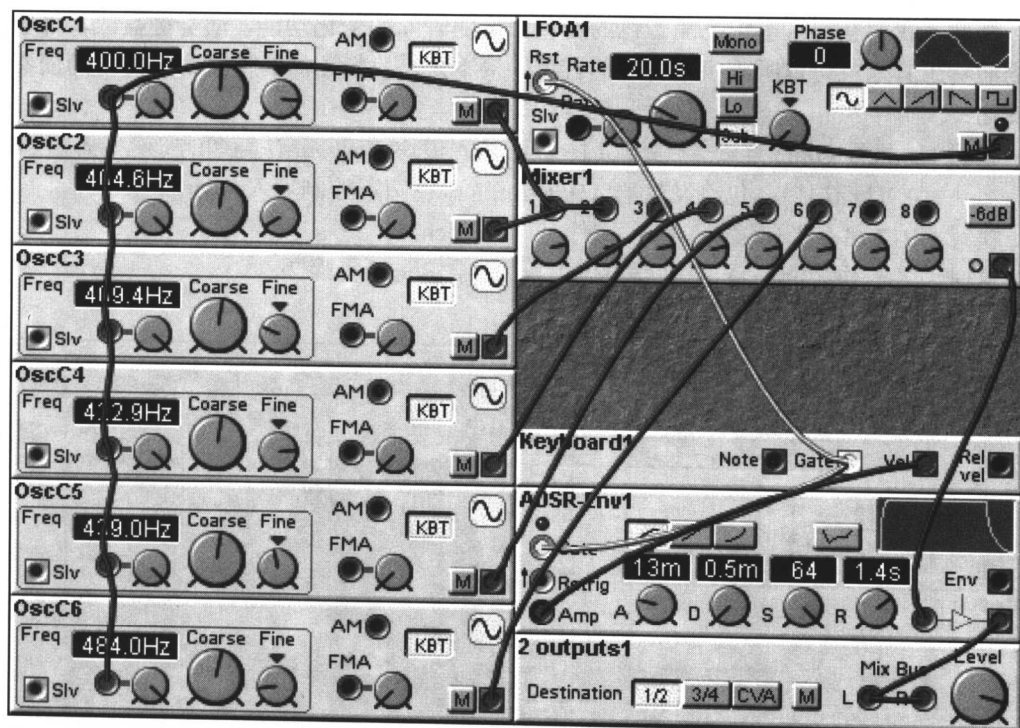


图 3.6.04 加法合成宇宙飞船步骤 3

在 Nord Modular 中, 获得振荡器频率随时间变化的方法很多, 就本例而言, 分音频率随时间变化的目的是为了模拟飞行器由近至远的音响效果, 我们选择较简便, 适宜的模块——低频振荡器来实现这一功能。我们调用较节省资源的主低频振荡器 *LFOC*:

操作 A: 执行 GP01 调用主低频振荡器 *LFOC*。

按照图 3.6.01 中所示, 设定低频振荡器的频率参数, 以决定飞行速度:

操作 B: 执行 GP05, 将低频振荡器 *LFOC1* 的频率参数 *Rate* 设定为每 20 秒 1Hz。

为获得飞行效果, 低频振荡器分别需要和各个振荡器连接, 由于本例中没有采用主振荡器对属振荡器的控制, 因此需要将低频振荡器与各振荡器逐一做串型连接:

操作 C: 执行 6 次 GP03 连线, 起始端口: 低频振荡器 *LFOC1* 蓝色方形控制输出; 目标端口按串型方式分别为: 振荡器 *OscC1* 至 *OscC6* 中位于频率显示窗下方的红色圆形音频输入。

调整发声振荡器的音高调制参数, 以决定飞行距离:

操作 D: 执行 6 次 GP05, 分别将振荡器 *OscC1* 至 *OscC6* 频率显示窗下面的旋钮位置调整至最右, 即取值为最大。

最后, 为低频振荡器施加逻辑触发控制, 以便保证每次演奏该音色, 音高都是由低向高变化。也就是飞船都是由近至远的飞行效果:

操作 E: 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 黄色方形逻辑输出 *Gate*; 目标端口: 低频振荡器 *LFOC1* 黄色圆形逻辑输入 *Rst*。

执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：*03.pch。

这时，各模块之间关系见图 3.6.04 加法合成宇宙飞船步骤 3：

读者也可以通过执行 GP13，文件名：StarShip03.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

执行 GP15 关闭所有音色窗口，然后按 Ctrl+U 只调用当前激活的音色^①。

至此，我们完成了通过 Nord Modular，采用加法合成原理合成宇宙飞船音色的工作。

四、音色讨论建议

针对加法合成的宇宙飞船音色特点，我们对大家在音色制作完成之后，通过实践对该音色进行讨论分析的内容有如下建议：

1. 理解声谱内容随时间的变化对音色的影响

声谱内容随时间的变化对本例中音色——宇宙飞船的影响是显而易见的。如果没有声谱各分音随时间的频率变化，根本不会出现飞船由近至远的音响效果。下面让我们通过实践，进一步体会声谱内容随时间的变化给音色带来的影响。

本例是通过低频振荡器获得声谱中各分音的频率随时间变化功能的。低频振荡器的频率 *Rate*，决定发声振荡器频率变化的速度，体现在音色中即飞船的飞行速度。建议操作如下：

操作 A：执行 GP15 关闭所有音色窗口。

操作 B：执行 GP13 读取演示音色，文件名：StarShip.pch；目标声部：A。

操作 C：执行 GP07，将低频振荡器 *LFOC1* 频率参数 *Rate* 的外部控制源设置为 Nord Modular 面板控制旋钮 7。

操作 D：边演奏该音色，边旋转控制旋钮 7，聆听音响效果。

通过以上操作不难发现，低频振荡器 *LFOC1* 的频率取值越大，各发声振荡器频率随时间变化的速度就越快，本例中，声谱内容随时间变化越快带给我们的听觉感受是飞船的飞行速度越快。

各发声振荡器的音高调制量决定振荡器的频率变化幅度，在本例可以有两种音响体验。首先，当各振荡器频率变化幅度一致时，体现为表现飞行距离的远近。建议操作如下：

操作 E：按不同音高演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图，记住其音色感觉与声谱图形状。

操作 F：执行 6 次 GP05，分别将振荡器 *OscC1* 至 *OscC6* 频率显示窗下面的旋钮位置调整 90。

操作 G：按不同音高演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图，与操作 E 进行比较。

通过比较操作 E 和操作 G，发现在相同变化速率(飞行速度)下，频率幅度变化越大，

^① 大家可以根据计算机的运转能力，自行决定该操作的执行与否。

当声谱分量随时间变化的幅度一致时，反映在音响上表明飞船飞行的距离越远。

其次，当各振荡器频率变化幅度不一致，甚至变化幅度本身随时间也在改变时，带给音色的影响是多元的。建议操作如下：

操作 H：执行 6 次 GP07，分别将振荡器 *OscC1* 至 *OscC6* 频率显示窗下放按钮的外部控制源设置为 Nord Moudlar 面板控制旋钮 1 至 6。

操作 I：边演奏该音色，边旋转控制旋钮 1-6，聆听音响效果。

操作 J：执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：*.pch。

操作 I 的结果表明，当各振荡器频率变化幅度不一致，也就是说声谱内容随时间变化的幅度不一致时，在本例中，除了带给我们飞行距离的变化之外，还带给我们音质上的变化。

2. 理解本例中低频振荡器的相位

第二章第 3 讲介绍低频振荡器时我们曾经提到低频振荡器的一个重要参数——相位。相位参数决定振荡器波形的起始位置。下面让我们通过实践体会低频振荡器相位的作用。建议操作如下：

操作 A：执行 GP15 关闭所有音色窗口。

操作 B：执行 GP13 读取演示音色，文件名：StarShip.pch；目标声部：A。

操作 C：观察低频振荡器参数右上角波形窗口显示的波形。

操作 D：执行 GP05 将低频振荡器 *LFOC1* 的相位参数 *Phase* 设置为 90。

操作 E：观察低频振荡器参数右上角波形窗口显示的波形。

比较操作 C 和操作 E 可以发现，低频振荡器 *LFOC1* 采用的波形是正弦波，操作 C 中波形是从 0 开始的，输出结果是从 0 开始，按照正弦变化逐渐增大；操作 E 中的波形被推后了 90 度，起始位置是从波峰开始的，输出结果是从最大值按照正弦变化逐渐减小。

操作 F：在低音区演奏该演奏音色。

这时发现，宇宙飞船的声音不是由近至远，而是由远及近地飞行。原因就是我们将低频振荡器的相位旋转了 90 度。低频振荡器从大至小的数值变化取代了由小至大的变化，反映到发声振荡器中，即发声振荡器的频率从高至低的变化取代了由低至高的变化，带来的音响效果就是飞船由远及近飞来，取代了原来由近至远飞去的效果。

练习题：

- 一. 观察宇宙飞船演奏过程中，音色波形及声谱的变化。
- 二. 试完成宇宙飞船音色在 10 秒钟左右内由近至远再由远及近地飞行效果，方法不限。

第7讲 加法合成“合成领奏”音色(之一)

本讲中,我们将通过加法合成的方法,合成一个典型的“合成领奏”(Synth Lead)音色。

一、音色分析

本部分内容包括以下几个部分:首先对该音色进行特征描述、然后根据绘制的算法框图进行算法分析。

1. 音色特征描述

合成领奏音色与上节中我们合成的宇宙飞船声音一样,是自然界中不存在的声音。由于其独特的音色具有很强的穿透力,因此这种人工合成的音色经常在电声音乐中扮演领奏乐器的角色,因此得名为 Synth Lead——合成领奏。

合成领奏音色的声谱中大都包含很多分音,由于其在音乐中经常担任领奏的任务,因此一般带有较多的演奏控制,如弯音、颤音、连奏等。另外,通常合成领奏音色要经过延时、失真等各种效果器的处理,以便获得更丰满独特的音响。

2. 绘制算法框图

根据以上音色特征,为获得丰满具有穿透力的音色特质,本例中我们没有采用正弦波相加的方法合成音色,而是直接采用将简单波形锯齿波相加的方法进行声源制作的。另外,本例中,我们没有采用音频延时效果器模块产生延时效果,而是直接通过振荡器等,模拟延时器的效果搭建出了延时功能。见图 3.7.01 加法合成“合成领奏”音色流程图:

3. 算法分析

按照图 3.7.01 中信号流程,我们对加法合成“合成领奏”音色的操作步骤流程进行以下分析:

- 调用频率关系如表 3.6.01 中规定的,2 个锯齿波振荡器 Osc1 和 Osc2。频率非常相近造成的拍音,是典型的“合成领奏”音色特征。
- 根据“合成领奏”音色的力度变化特点,我们选择经标准包络发生器 ADSR1 将直达声信号送出。
- 相加在一起的直达声输出信号受演奏力度影响,随演奏力度的大小成比例变化。
- 时钟发生器 Clock 控制延时声的延时时间。
- 简单包络发生器 AD 决定延时声音色力度随时间的变化模式。
- 包络发生器 ADSR2 控制全部延时效果的时间长度。D2 的取值表示每个音符的延时声不超过 2 秒。R2 的取值决定每个演奏音符结束后的延时声长度。
- 各振荡器的音高受低频振荡器影响的调制量为 35,以每秒 5.43 次的频率产生音高变化。本例中音高调制量较小,在很低的低频振荡器频率控制下,带来的最终音响效果是音色的自然颤音。
- 低频振荡器的输出信号受 MIDI 第 1 号控制变换信息——调制信息的影响,决定整个音色的颤音深度。

- 直达声与延时声混合后被送入过载效果器进行统一的信号修饰。

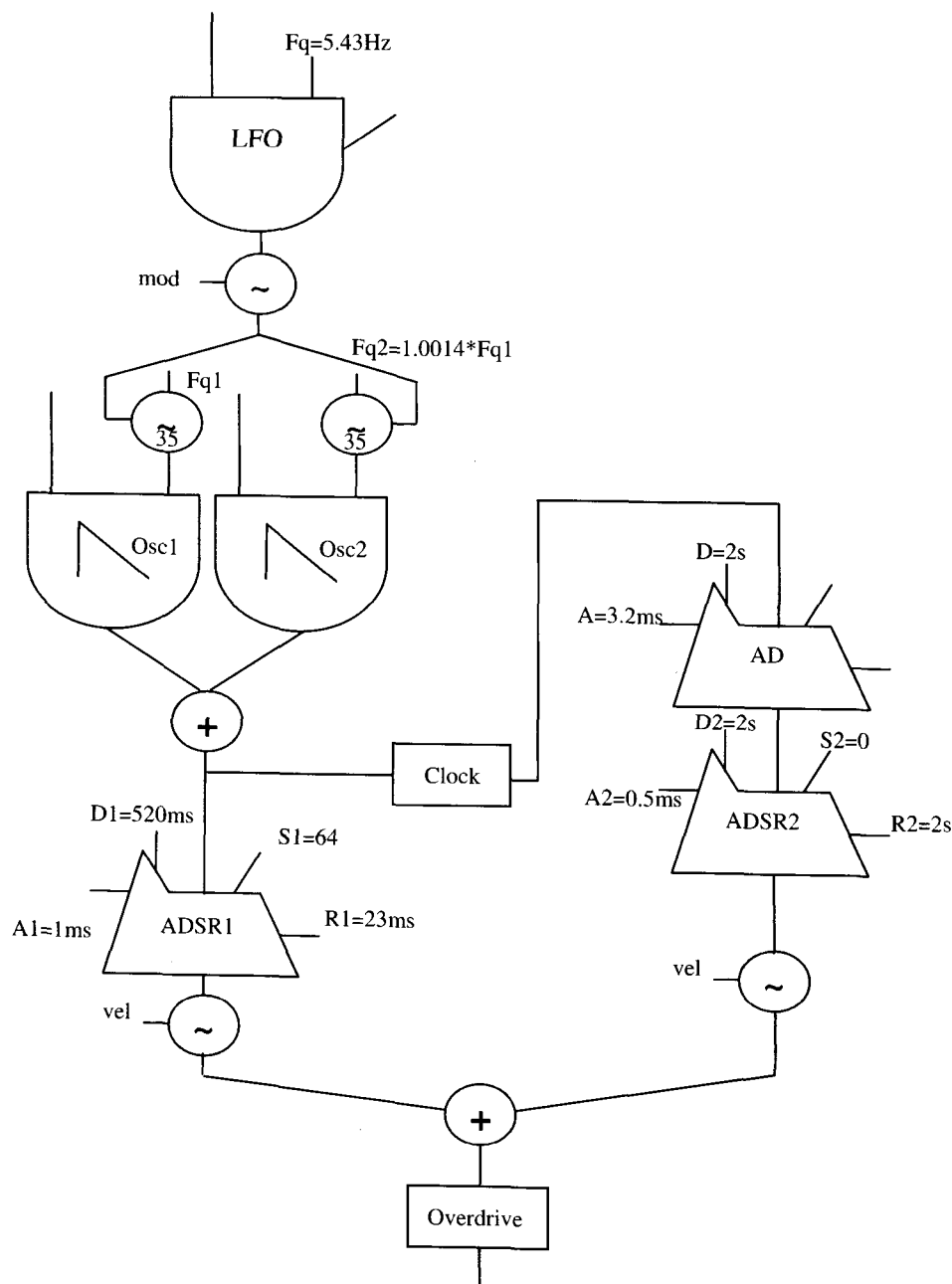


图 3.7.01 加法合成“合成领奏”音色流程图

下面让我们根据音色分析的结果，通过 Nord Modular，按步骤完成加法合成“合成领奏”音色的合成与制作工作。

二、获得静态声谱

获得静态声谱主要包括获得声源及对声谱进行修饰，就本例加法合成“合成领奏”音色而言，主要是获得声源的任务。

执行 GP11^①做好系统准备；执行 GP15 关闭目前所有音色窗口；执行 GP12 新建一音色，目标声部：A。

步骤 1:

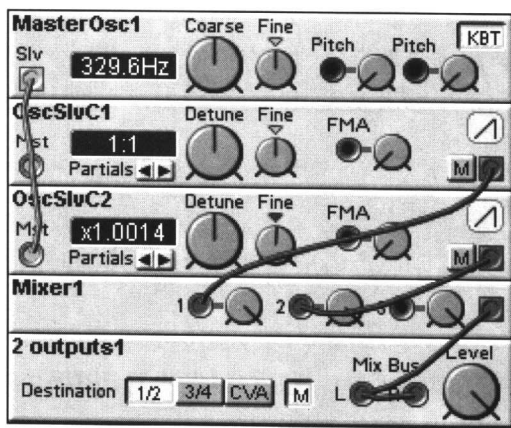


图 3.7.02 加法合成“合成领奏”步骤 1

因为调用的振荡器之间的频率关系为非固定值，因此可以采用属振荡器：

操作 A：执行 GP01 调用主振荡器 *MasterOsc*^②。

操作 B：执行 2 次 GP01，分别调用 2 个属振荡器模块 *OscSlvC*。

调整两个属振荡器的频率参数：

操作 C：执行 2 次 GP05，将整属振荡器 *OscSlvC1* 和 *OscSlvC2* 的振荡器频率与主振荡器的比值分别设定为 1:1、1:1.0014。

采用串型方式激活主振荡器对属振荡器的控制：

操作 D：执行 GP03 连线，启始端口：振荡器 *MasterOsc1* 灰色方形 *Slv* 输出；目标端口按串型方式分别为：属振荡器 *OscSlvC1* 和 *OscSlvC2* 灰色圆形 *Mst* 输入。

将两个振荡器信号相加，我们需要 2 路输入能力，因此只需调用一个混合起模块和音频输出模块：

操作 E：执行 GP01 调用混合器 3 inputs *Mixer*，名称为 *Mixer1*。

操作 F：执行 GP01 调用音频输出模块 2 outputs。

将振荡器输出信号相加后，从音频输出模块送出：

操作 G^①：执行 GP03 连线，启始端口为：混合器 *Mixer1* 红色方形音频输出；目标端

① 有关编号为 GP# 的全局操作的具体步骤请参阅本书附录三。

② 使用斜体字表示的内容为 Nord Modular 中的模块名称或参数名称。

口为：音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 *L*。

操作 H：执行 GP03 连线，起始端口为：音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 *L*；

目标端口：音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 *R*。

现在我们已经可以听到声音了。通过音频输出模块 2 *outputs1* 上的哑音开关(默认状态为解除状态)可以控制声音的送出与否。

执行 GP16 保存当前编辑音色，文件名：*01.pch。

这时，各模块之间关系见图 3.7.02 加法合成“合成领奏”步骤 1：

读者也可以通过执行 GP13，文件名：SynthLead01.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

至此，我们获得了“合成领奏”音色的静态声谱。由于两个锯齿波振荡器的频率非常相近，发出声音的音色要比单个锯齿波更加具有穿透力。下面让我们进一步获得“合成领奏”音色的动态声谱变化。

三、获得动态声谱

对“合成领奏”而言，获得动态声谱主要包括音色力度随时间和音色力度随演奏力度的变化。

步骤 2：

处理音色力度随时间变化的主要工具就是包络发生器，根据“合成领奏”音色的特点，我们需要调用一个标准的 ADSR 包络发生器：

操作 A：执行 GP01 调用包络发生器 *ADSR-Env*。

调整包络发生器的参数：

操作 B：执行 4 次 GP05，将包络发生器 *ADSR-Env1* 各阶段的参数 *A*、*D*、*S*、*R* 分别设定为：1 毫秒、520 毫秒、64、23 毫秒。

在通过包络发生器将振荡器信号送入音频输出模块之前，需要断开原来的直接连接：

操作 C：执行 GP04 去掉步骤 1 操作 G 中的连线。

通过包络发生器将振荡器信号送出。

操作 D：执行 GP03 连线，起始端口：混合器 *Mixer1* 红色方形音频输出；目标端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 红色圆形音频输入。

操作 E：执行 GP03 连线，起始端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 红色方形音频输出；目标端口：音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 *L*。

下面完成包络发生器与键盘输入模块的连接，从键盘输入模块获得包络发生器的逻辑触发信号：

操作 F：执行 GP01 调用键盘输入模块 *Keyboard*。

操作 G：执行 GP03 连线，起始端口：键盘输入模块 *Keyboard1* 黄色方形逻辑输出 *Gate*；目标端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

至此，我们获得了“合成领奏”音色的音色力度随时间的变化功能，演奏键盘或软件

① 为方便查找，我们将在未来步骤中有可能被重新执行的步骤编码上增加了方框标记。

中提供的演奏工具，就可以听到“合成领奏”的音色。接下来，我们还需要使其音色力度随演奏力度变化：

操作 H：执行 GP03 连线，起始端口：键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Vel*；
目标端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：*02.pch。

这时，各模块之间关系见图 3.7.03 加法合成“合成领奏”步骤 2：

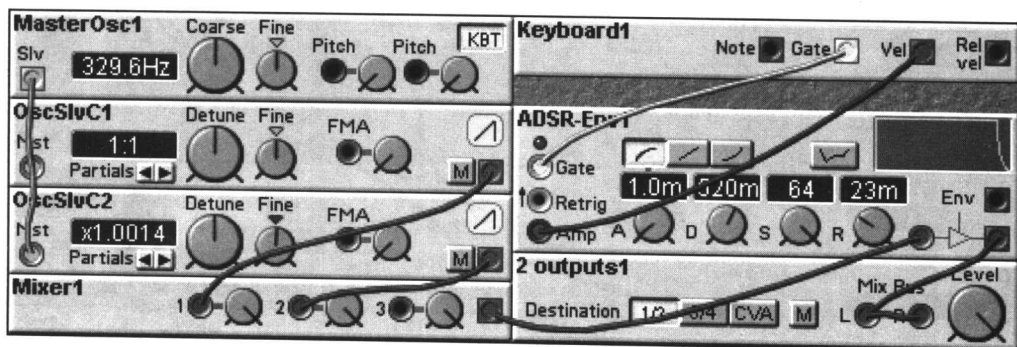


图 3.7.03 加法合成“合成领奏”步骤 2

读者也可以通过执行 GP13，文件名：SynthLead02.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

至此，合成领奏的基本面貌已经合成制作完成。虽然现在音色听起来具有足够的穿透力，但是似乎有些单调和刺耳。下面让我们通过后音色修饰，美化“合成领奏”音色。

四、后音色修饰——获得颤音并通过调制轮控制颤音深度

本例中，针对“合成领奏”音色，我们将给它施加颤音、延时和过载效果，并通过 MIDI 键盘上的调制轮控制颤音深度。

首先要使“合成领奏”音色具有自然颤音效果。

步骤 3：

根据图 3.7.01 中所示，实现自然颤音效果主要依靠低频振荡器，就本例而言，我们调用较节省资源的一种主低频振荡器 *LFOC*：

操作 A：执行 GP01 调用主低频振荡器 *LFOC*。

按照图 3.7.01 中所示，设定低频振荡器的频率参数，以决定颤音速率：

操作 B：执行 GP05 将低频振荡器 *LFOC1* 的频率参数 *Rate* 设定为 5.43Hz。

根据图 3.7.01 中，低频振荡器分别需要和各个振荡器连接，由于本例中采用了主振荡器对属振荡器的控制，因此只需将低频振荡器与主振荡器连接即可。该振荡器有两个这样的输入端子，任选择一个都可以，本例中选择了靠左边的输入端子：

操作 C：执行 GP03 连线，起始端口：低频振荡器 *LFOC1* 蓝色方形控制输出；目标端

口：主振荡器 *MasterOsc1* 靠左边的蓝色圆形控制输入 *Pitch*。

调整发声振荡器的音高调制参数，以决定颤音幅度(颤音之间的音程关系)

操作 D：执行 GP05 将主振荡器 *MasterOsc1* 靠左边的音高调制参数 *Pitch* 设定为 35。

执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：*03.pch。

这时，各模块之间关系见图 3.7.04 加法合成“合成领奏”步骤 3：

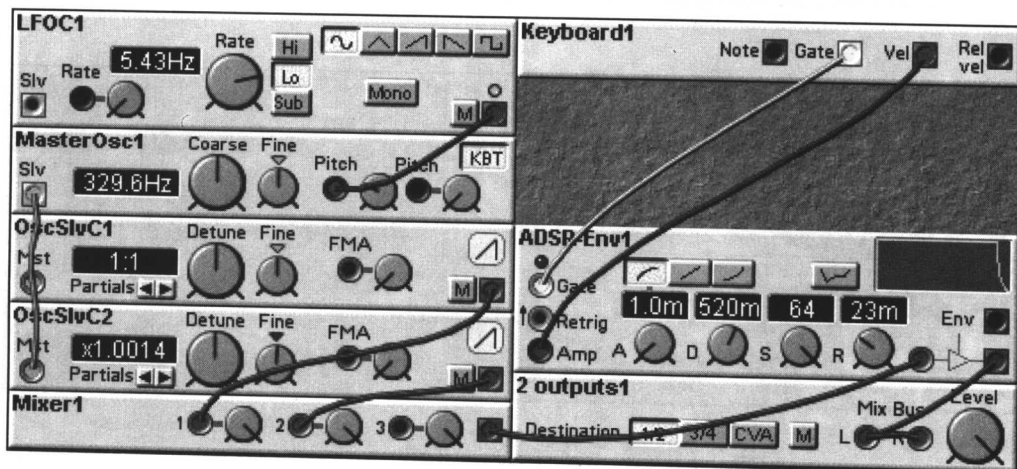


图 3.7.04 加法合成“合成领奏”步骤 3

读者也可以通过执行 GP13，文件名：SynthLead03.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

其次，需要通过 MIDI 键盘的调制轮控制“合成领奏”音色的颤音深度。

步骤 4：

Nord Modular 中不能对低频振荡器的振幅进行直接调制，因此我们需要借助控制信号混合器的帮助：

操作 A：执行 GP01 调用控制信号混合器 *ControlMixer*。

在通过控制信号混合器对低频振荡器振幅施加调制之前，需要将原来低频振荡器与主振荡器的连接断开：

操作 B：执行 GP04 去掉步骤 3 操作 C 中的连线。

经过控制信号混合器将低频振荡器的输出信号送入主振荡器：

操作 C：执行 GP03 连线，起始端口：低频振荡器 *LFO1* 蓝色方形控制输出；目标端口：控制信号混合器 *ControlMixer1* 第 2 路(右边)的蓝色圆形控制输入 *Pitch*。

操作 D：执行 GP03 连线，起始端口：控制信号混合器 *ControlMixer1* 的蓝色方形控制输出；目标端口：主振荡器 *MasterOsc1* 靠左边的蓝色圆形控制输入 *Pitch*。

设定默认的颤音深度：

操作 E：执行 GP05 将控制信号混合器 *ControlMixer1* 第 2 路输出调节旋钮的取值设定为 100。

下面让 MIDI 键盘上的调制轮可以控制颤音深度：

第8讲 加法合成“合成领奏”音色(之二)

本讲中，我们将为“合成领奏”音色添加延时、失真等后音色修饰效果。

一、后音色修饰

1. 获得延时效果

一般情况下，给音色施加声音效果属于后音色修饰部分，本例也是按照这个逻辑进行介绍的。但其实本例实现延时效果不是通过效果器，而是通过声音模块，模拟延时效果的算法，搭建出的延时效果。

按照图 3.7.01 中所示，我们是通过将相加后的振荡器信号，并联送入独立的包络发生器，获得延时声的。

步骤 5:

根据“合成领奏”音色的特点，我们需要一个简单包络发生器就可以完成对延时声振幅包络的控制：

操作 A: 执行 GP01 调用简单包络发生器 *AD-Env*。

将相加后的振荡器信号送入简单包络发生器：

操作 B: 执行 GP03 连线，起始端口：混合器 *Mixer1* 红色方形音频输出；目标端口：包络发生器 *AD-Env1* 红色圆形音频输入。

按照图 3.7.01 中的规定调整简单包络发生器的参数，以便获得延时声正确的振幅包络响应：

操作 C: 执行 2 次 GP05，将包络发生器 *AD-Env1* 的参数 *A* 和 *D* 分别设定为 3.2 毫秒和 2 秒。

在 Nord Modular 中是通过为包络发生器不断地施加逻辑触发信号的方法，实现按照一定频次产生延时声功能的：

操作 D: 执行 GP01 调时钟发生器 *ClkGen*。

设置时钟发生器参数决定延时时间：

操作 E: 执行 GP05 将时钟发生器 *ClkGen1* 的速率参数 *Rate* 设定为 40BPM。

连接时钟发生器与简单包络发生器，为其施加周期性的逻辑触发信号。

操作 F: 执行 GP03 连线，起始端口：时钟发生器 *ClkGen1* 黄色方形控制输出 4 pulses/b；目标端口：包络发生器 *AD-Env1* 黄色圆形控制输入。

在将直达声与延时声混合之前，需要先将标准包络发生器 *ADSR-Env1* 原来与音频输出模块的直接连接断开：

操作 G: 执行 GP04 去掉步骤 2 操作 E 中的连线。

下面需要将直达声与延时声混合输出，方法是通过调用连接混合器，将简单包络发生器 *AD-Env1* 的信号与标准包络发生器 *ADSR-Env1* 的信号混合后送出：

操作 H: 执行 GP01 调用混合器 3 inputs mixer，名称为 *Mixer2*。

操作 : 执行 GP03 连线, 起始端口: 包络发生器 *AD-Env1* 红色方形音频输出; 目标端口: 混合器 *Mixer2* 红色圆形音频输入 2。

操作 : 执行 GP03 连线, 起始端口: 混合器 *Mixer2* 红色方形音频输出; 目标端口: 音频输出模块 *2 outputs1* 红色圆形音频输入 L。

为了方便监听延时声的效果, 我们暂时不将直达声与延时声混合。由于时钟发生器不需要逻辑触发信号就可以自动不断地向外发送脉冲信号, 如果不加控制, 我们将听到不间断的延时声。读者可以通过音频输出模块 *2 outputs1* 上的哑音开关(默认状态为解除状态 ) 控制声音的送出与否。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *05.pch。

这时, 各模块之间关系见图 3.8.01 加法合成“合成领奏”步骤 5:

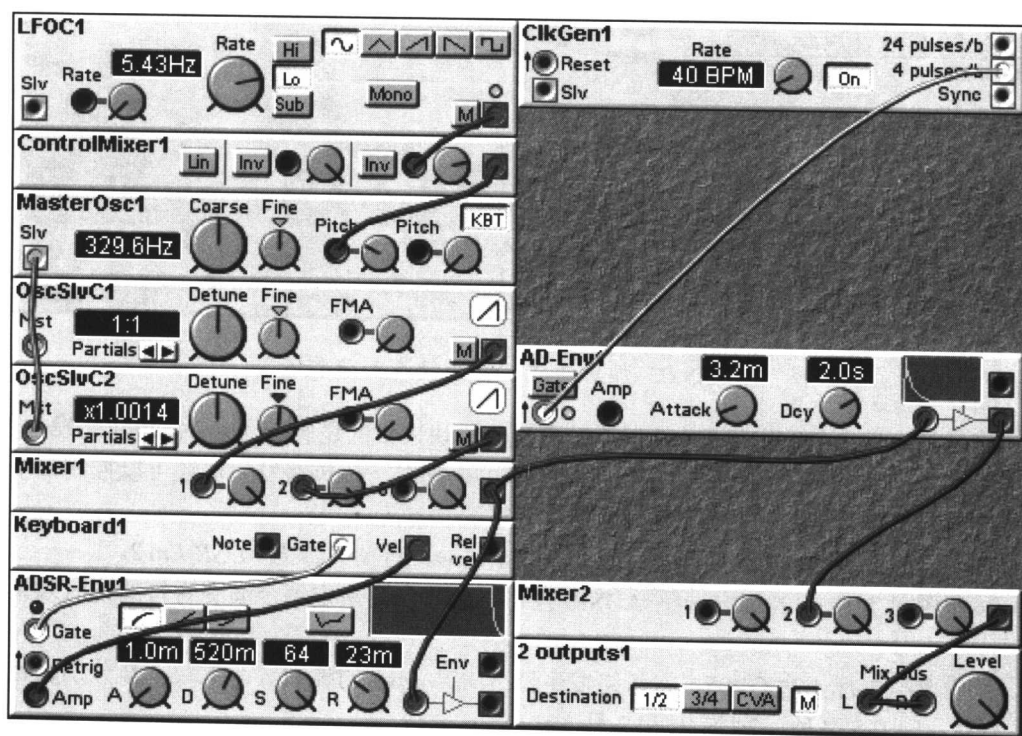


图 3.8.01 加法合成“合成领奏”步骤 5

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: SynthLead05.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

至此, 我们获得了延时声, 但是这时的延时声是自动的, 我们必须能够控制延时声与我们演奏的每一个音符同步, 也就是说, 不演奏时没有延时声, 演奏某个音符, 就产生该音高“合成领奏”音色的延时声。

步骤 6:

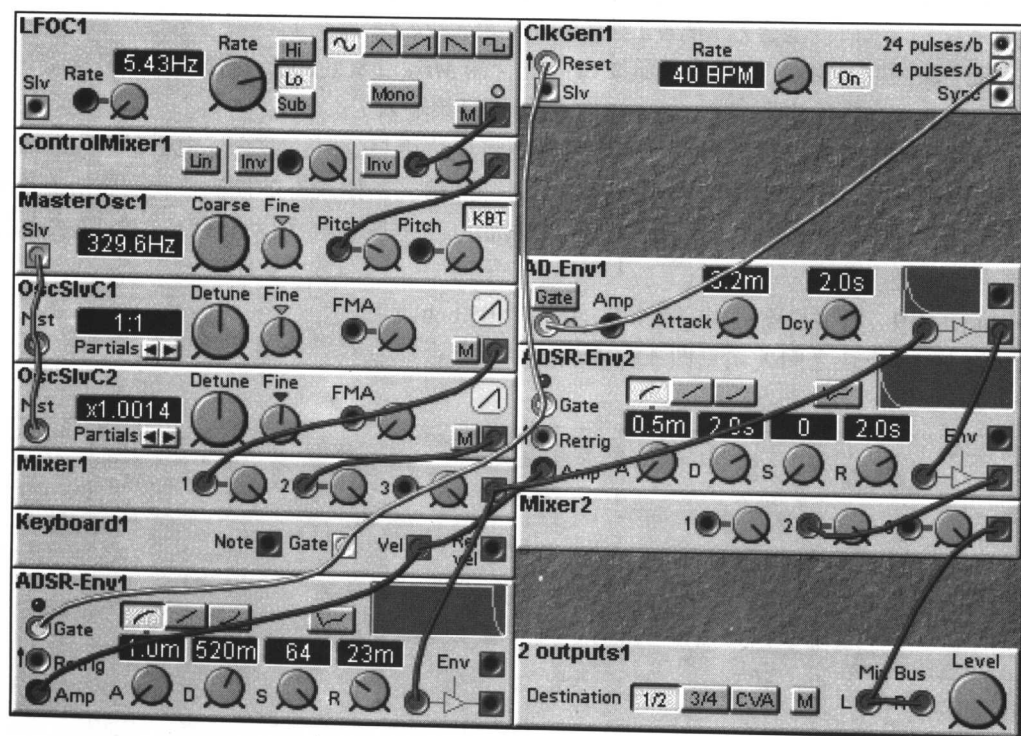


图 3.8.02 加法合成“合成领奏”步骤 6

将延时声送入包络发生器，然后让键盘输入模块采集的逻辑信号，触发该包络发生器，即可达到控制延时声随每个演奏音符发声的目的。同时，该包络发生器还可以控制每个延时效果的长度：

操作 A：执行 GP01 调用包络发生器 *ADSR-Env*，自动名称为 *ADSR-Env2*。

按照图 3.7.01 中的规定调整 *ADSR* 包络发生器参数决定每个演奏音符的延时效果长度：

操作 B：执行 4 次 GP05，将包络发生器 *ADSR-Env2* 的参数 *A*、*D*、*S*、*R* 分别设定为 0.5 毫秒、2 秒、0 和 2 秒。

在通过 *ADSR-Env2* 将延时声输出之前，需要将延时声与 *Mixer2* 的直接连接断开：

操作 C：执行 GP04 去掉步骤 5 操作 I 中的连线。

通过过 *ADSR-Env2* 将 *AD-Env1* 的信号送入 *Mixer2*：

操作 D：执行 GP03 连线，起始端口：包络发生器 *AD-Env1* 红色方形音频输出；目标端口：包络发生器 *ADSR-Env2* 红色圆形音频输入。

操作 E：执行 GP03 连线，起始端口：包络发生器 *ADSR-Env2* 红色方形音频输出；目标端口：混合器 *Mixer2* 红色圆形音频输入 2。

通过键盘输入模块采集的逻辑信息触发包络发生器 *ADSR-Env2*：

操作 F：执行 GP03 连线，起始端口：键盘输入模块 *Keyboard1* 黄色方形逻辑输出 *Gate*；目标端口：包络发生器 *ADSR-Env2* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

这时演奏音色，将获得随演奏音符产生的延时效果声。但是由于延时声是由时钟发生器触发的，它对延时声的触发时间独立于键盘采集的逻辑触发信息。我们必须设法让时钟发生器的开始工作时间与键盘触发同步。方法就是让键盘输入模块采集的逻辑触发信息，初始化时钟发生器的开始工作时间。为了避免连线过于纷乱，本例中采用将包络发生器从键盘输入模块处获得的逻辑触发信号，串联给时钟发生器的方式实现同步：

操作 G：执行 GP03 连线，起始端口：包络发生器 *ADSR-Env2* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*；
目标端口：时钟发生器 *ClkGen1* 黄色圆形逻辑输入 *Reset*。

执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：*06.pch。

这时，各模块之间关系见图 3.8.02 加法合成“合成领奏”步骤 6：

读者也可以通过执行 GP13，文件名：SynthLead06.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

至此，我们获得了比较满意的延时效果。美中不足的是，对延时时间的调整不是很方便。下面我们进一步完善“合成领奏”音色对延时时间的控制功能。

步骤 7：

完善延时时间的控制，主要需要对音色中延时声的逻辑触发部分进行调整，首先我们需要调用新的逻辑信号产生模块：

操作 A：执行 GP01 调用事件音序模块 *EventSeq*。

设置事件音序模块的事件发生模式：

操作 B：分别点击事件音序模块 *EventSeq1* 中上面一排编号为 1、5、9、13 的方形按钮  (事件关状态，该状态为默认状态)，使其都变成这个状态： (事件开状态)。

在经过事件音序模块触发产生延时声的包络发生器 *AD-Env1* 之前，需要将原来触发它，来自时钟发生器的逻辑触发信号断开：

操作 C：执行 GP04 去掉步骤 5 操作 F 中的连线。

将时钟发生器的逻辑触发信号送入事件音序模块，然后用按照事件音序模块规定的方式产生的逻辑触发信号来触发产生延时声的包络发生器：

操作 D：执行 GP03 连线，起始端口：时钟发生器 *ClkGen1* 黄色方形控制输出 *4 pulses /b*；目标端口：事件音序模块 *EventSeq1* 中黄色圆形控制输入 *Clk*。

操作 E：执行 GP03 连线，起始端口：事件音序模块 *EventSeq1* 中，上一排的黄色圆形控制输出；目标端口：包络发生器 *AD-Env1* 黄色圆形控制输入。

这时，我们需要重新调整时钟发生器的速率参数，以获得和从前一样的延时时间：

操作 F：执行 GP05 将时钟发生器 *ClkGen1* 的速率参数 *Rate* 设定为 160。

与步骤 6 中原理一样，我们还需要获得演奏与事件音序模块之间的同步：

操作 G：执行 GP03 连线，起始端口：时钟发生器 *ClkGen1* 黄色圆形逻辑输入 *Reset*；
目标端口：事件音序模块 *EventGen1* 黄色圆形逻辑输入 *Rst*。

对延时声处理的最后一个操作就是需要让演奏力度控制延时声的大小。具体方法将键盘输入模块与获得延时声的包络发生器 *AD-Env1*，或控制延时声长度的包络发生器 *ADSR-Env2* 连接即可，本例中采用了后者：

操作 H: 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Vel*;

目标端口: 包络发生器 *ADSR-Env2* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *07.pch。

这时, 各模块之间关系见图 3.8.03 加法合成“合成领奏”步骤 7:

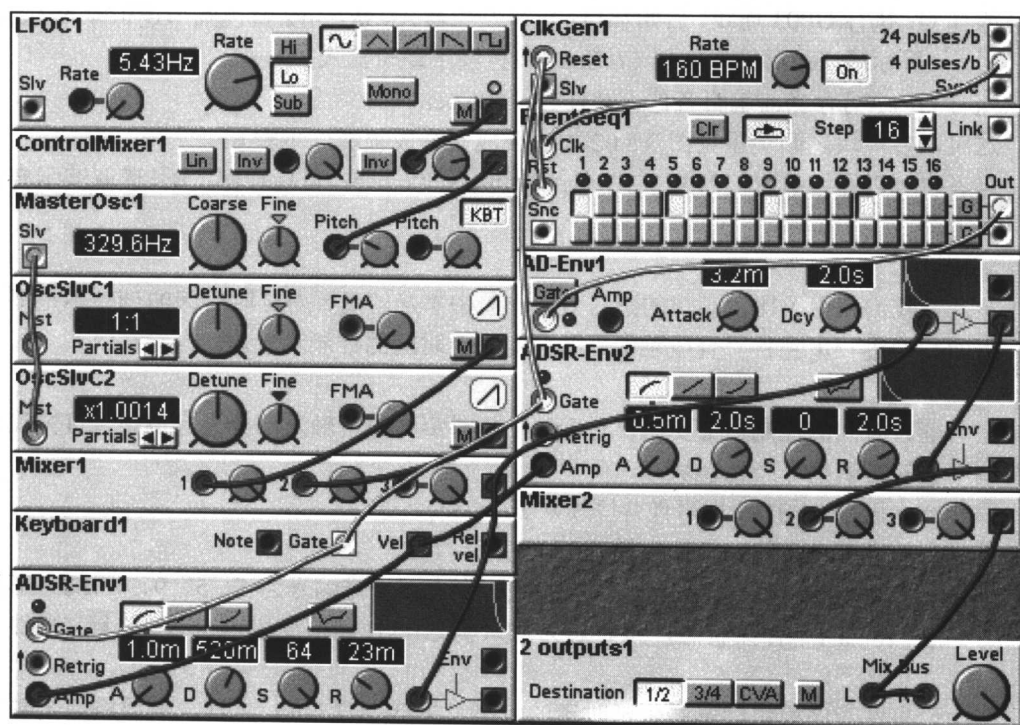


图 3.8.03 加法合成“合成领奏”步骤 7

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: SynthLead07.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

至此, 我们完成了对“合成领奏”音色延时声的处理工作。下面, 让我们将延时声与直达声混合在一起, 并为整个音色施加载过载效果和增加外部控制能力。

2. 获得过载效果

步骤 8:

直达声与延时声都需要过载效果, 因此首先应该将直达声送入混合器 *Mixer2*, 完成直达声与延时声的混合:

操作 A: 执行 GP03 连线, 起始端口: 包络发生器 *ADSR-Env1* 红色方形音频输出; 目

标端口: 混合器 *Mixer2* 红色圆形音频输入 1。

调整直达声与延时声的比例, 一般情况下延时声比直达声弱:

操作 B: 执行 GP05 将混合器 *Mixer2* 第 2 路的输出参量设定为 80。

由于本例中直达声与延时声的声源相同，因此同时发声的话需要占用更多的发音数：
操作 C：找到软件编辑器下拉式菜单下面标示的发音数(Voices)显示窗旁边带左右箭头的按钮，建议将所需发音数调整为 8。

本例中获得过载效果是通过调用效果器模块实现的：

操作 D：执行 GP01 调用过载效果器模块 *Overdrive*。

调整过载效果器的参数：

操作 E：执行 GP05 将过载效果器模块 *Overdrive* 的过载参量 *Overdrive* 设定为最大，即 127。

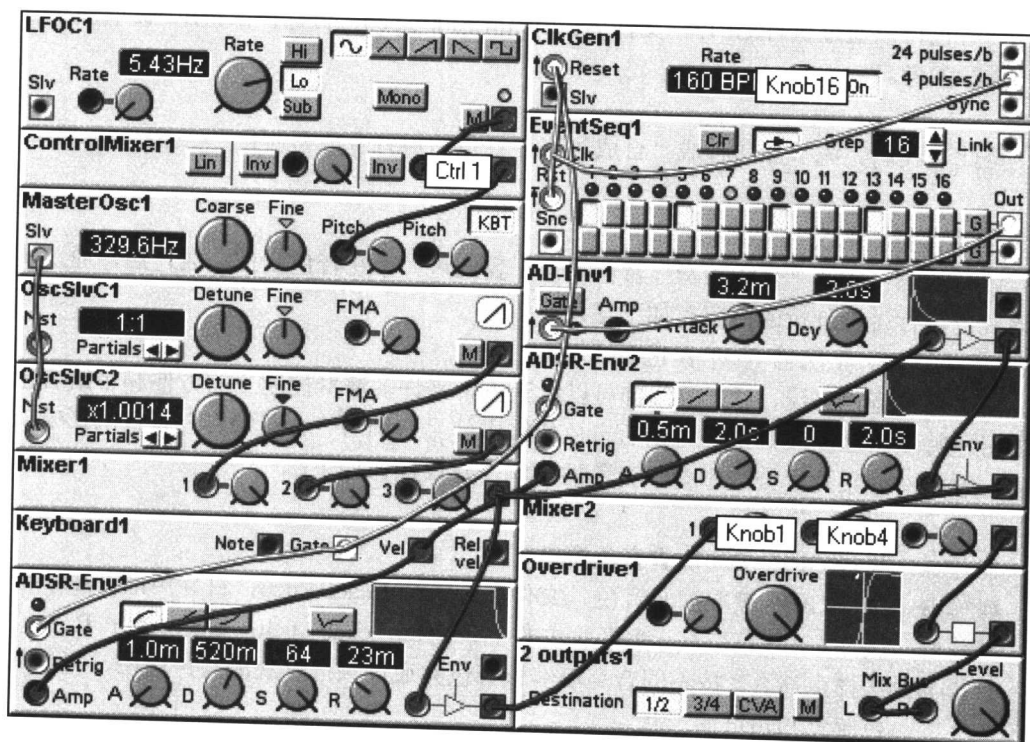


图 3.8.04 加法合成“合成领奏”步骤 8

在连接过载效果器之前，需要断开混合直达声与延时声的混合器，与音频输出模块的连接：

操作 F：执行 GP04 去掉步骤 5 操作 J 中的连线。

将所有声音信号经过过载效果器模块处理：

操作 G：执行 GP03 连线，起始端口：混合器 *Mixer2* 红色方形音频输出；目标端口：过载效果器模块 *Overdrive1* 红色圆形音频输入。

操作 H：执行 GP03 连线，起始端口：过载效果器模块 *Overdrive1* 红色方形音频输出；目标端口：音频输出模块 *2 outputs1* 红色圆形音频输入 L。

给相关模块参数设定外部控制源，可以在实时演奏过程中更方便地控制“合成领奏”

音色。为时钟发生器的速率参数设定外部控制源，可以方便地调整延时时间：

操作 I：执行 GP07，将时钟发生器 *ClkGen1* 速率参数 *Rate* 的外部控制源设置为 Nord Modular 面板控制旋钮 16。

为混合直达声与延时声的混合器各路输出参量设置外部控制源可以方便地调整直达声与延时声的比例关系：

操作 J：执行 2 次 GP07，分别将混合器 *Mixer2* 第 1 路和第 2 路的输出参量的外部控制源设置为 Nord Modular 面板控制旋钮 1 和 4。

执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：*08.pch。

这时，各模块之间关系见图 3.8.04 加法合成“合成领奏”步骤 8^①：

读者也可以通过执行 GP13，文件名：SynthLead08.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

至此，我们完成了加法合成“合成领奏”音色的声音合成与制作。

二、音色讨论建议

针对加法合成的“合成领奏”音色特点，我们对大家在音色制作完成之后，通过实践对该音色进行讨论分析的内容有如下建议：

1. 理解后音色修饰对音色的影响

对大多数音色来说，后音色修饰可以给音色带来许多演奏控制上的方便和带给音色更多的音色特质。这里我们主要讨论后音色修饰中信号修饰对“合成领奏”音色的影响。首先看一看延时效果对“合成领奏”音色的影响，建议操作如下：

操作 A：执行 GP15 关闭所有音色窗口。

操作 B：执行 GP13 读取演示音色，文件名：SynthLead04.pch；目标声部：A。

操作 C：执行 GP13 读取演示音色，文件名：SynthLead07.pch；目标声部：B。

操作 D：选择声部 A，按不同音高演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图，记住其音色感觉与声谱图形状。

操作 E：选择声部 B，按不同音高演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图，与操作 D 进行比较。

通过操作 D 听到的是“合成领奏”音色的直达声，即没有加载延时效果的“合成领奏”音色。声音质感略显粗糙，且有些刺耳。由于我们增大了延时声振幅包络的触发时间，通过操作 E 听到的“合成领奏”延时声要柔和的多，完全没有刺耳的感觉。让我们继续比较，看一看直达声与延时声混合后的效果，建议操作如下：

操作 F：执行 GP13 读取演示音色，文件名：SynthLead08.pch；目标声部：C。

操作 G：选择声部 C，执行 GP05 将过载效果器模块 *Overdrive* 的过载参量 *Overdrive*

① 在 Nord Modular 的软件编辑器中按 F9 和 F8 才能看到外部控制源和外部控制源信息号。

设定为最小，即 0，去掉过载效果。

操作 H: 选择声部 C，按不同音高演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图，与操作 D 进行比较。

经过比较操作 D 与操作 H，可以发现在加载了延时效果后，柔和的延时声软化了直达声中刺耳的因素。但是现在可以清晰地听出直达声与延时声的音色区别，二者的融合度不够好。如果将直达声与延时声混合后，再统一施加某种效果，会不会改善直达声与延时声的音色间离状况呢？下面让我们看看过载效果对“合成领奏”音色的影响，建议操作如下：

操作 I: 执行 GP13 读取演示音色，文件名：SynthLead08.pch；目标声部：D。

操作 J: 选择声部 D，按不同音高演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图，与操作 H 进行比较。

经过比较操作 J 与操作 H 发现，过载效果不仅增加了直达声与延时声之间的融合度，从音色的整体效果上看，经过过载效果的加工，给原来略显“粗野”的音色上增加了“粗犷”、“豪迈”的色彩。当然，对于音色的审美感受是仁者见仁、智者见智的事，这里如此形容过载效果的作用，只是为了让大家注意到在音色合成与制作过程中，后音色修饰对音色的影响。

2. 理解本例中获得延时效果的方法

在声音合成与制作过程中，对音色进行后音色修饰，如进行信号修饰的工作时，往往是通过效果器来完成的。延时效果器是经常被使用在后音色修饰阶段的效果器之一。然而 Nord Modular 中的延时效果器模块提供的延时时间过短，不善于制作长延音时间的延音效果。因此，本例中我们采用了通过 Nord Modular 提供的各种其它模块，搭建延音效果器组件的方法模拟出了延音效果。本例中我们搭建的延时效果器具有以下两个特点：

首先是可以方便地根据音乐速度，调整延时效果器的延时时间参数。以往常规延时器的延时时间，都是以绝对时间量秒、毫秒等计算的。当我们需要随均分律动的音乐给每个声音施加延时效果时，我们必须根据该均分律动音乐的速度计算出所需延时时间参数的绝对时间。而本例中的延时效果组件不许要额外的计算，直接通过调节时钟发生器的速率参数即可，加入我们想为速度为每分钟 120 拍的音乐施加延时效果时，建议操作如下：

操作 A: 执行 GP15 关闭所有音色窗口。

操作 B: 执行 GP13 读取演示音色，文件名：SynthLead.pch；目标声部：A。

操作 C: 执行 GP05 将时钟发生器 *ClkGen1* 的速率参数 *Rate* 设定为 120。

操作 D: 选择声部 A，按不同音高演奏该音色。

通过操作 D 我们看出，只需要将时钟发生器的速率参数设定为音乐的实际速度，就可以获得与该速度相符合的延时效果。

其次，本例中搭建的延时效果器组件还可以实现不同节奏的延时效果，使延时声更具音乐性。建议操作如下：

操作 E: 分别点击事件音序模块 *EventSeq1* 中上面一排编号为 4、6、12、14 的方形按钮  (事件关状态, 该状态为默认状态), 使其都变成这个状态:  (事件开状态)。

操作 F: 选择声部 A, 按不同音高演奏该音色。

通过操作 F 我们可以听到不是按照固定时间产生的延时声, 而是更具音乐性的, 带节奏型的延时声音。

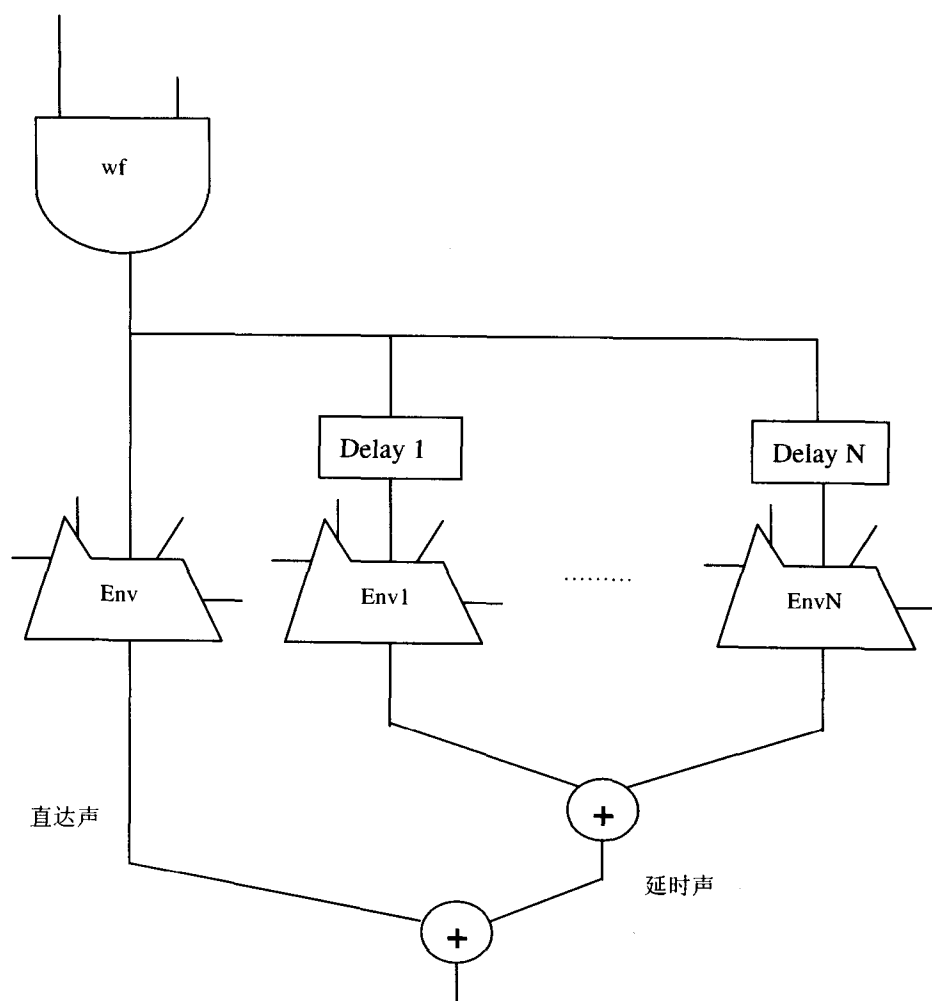


图 3.8.05 通过 Nord Modular 搭建非等距延时效果流程

本例中获得延时效果的方法, 是 Nord Modular 中诸多通过模块搭建延时效果方法中的一种。延时声的触发采用了时钟发生器, 因此只要将直达声通过时钟发生器控制, 就可以不间断地自动获得多个延时声。再加上事件音序模块的帮助可以做到方便地按照音乐速

度、节拍调整延时声的延时时间。但这样做也有局限，例如当我们需要各延时声之间的时间间隔为非等距时，上述通过时钟发生器搭建延时效果组建的方法就无能为力了。下面这种搭建延时效果组件的算法可以实现非等距的延时时间，见图 3.8.05 通过 Nord Modular 搭建非等距延时效果流程图：

图 3.8.05 中所示的延时效果搭建算法中，需要多少个延时声，就可以按照算法调用相应数量的模块进行搭建。该算法没有采用时钟发生器，而是采用为每个延时声，延时声 1 至延时声 N 分别加了一个延时控制。这样做的好处是，可以单独控制每一个延时声的发声时间。当然，获得独立控制每个延时声延时时间能力的同时，也失去了按照音乐速度与节拍控制延时时间的方便。由于搭建延时效果组件并不是声音合成与制作的重点，这里我们就不讲述具体实现该算法的操作步骤了，有兴趣的读者可以根据算法流程图自己动手实践一下。

至此，我们按照加法合成原理，完成了理论音色、钟声、中国罄、电钢琴、风琴、宇宙飞船与“合成领奏”共七个音色的声音合成任务。以实践的方式体会了加法合成中，获得静态声谱、获得动态声谱以及后音色修饰的方法。同时，通过每个音色的实践讨论分析，进一步理解了静态声谱、动态声谱以及后音色修饰对音色感知的影响。下面让我们学习在声音合成与制作中，应用范围最为广泛的合成方法——减法合成。

练习题：

试按照本讲音色讨论建议中提供的思路，以该方式为合成领奏音色添加非等距延时效果。

第四章 减法合成

通过将具有较丰富声谱内容的自然声谱，或人工声谱中的分量减去的方法获得目的声谱的合成方法叫做减法合成(Subtractive Synthesis)。本章中，我们将采用减法合成方法，进行一系列音色的合成实践。

第 1 讲 减法合成双簧管音色

上一章第 1 讲中，我们合成了五个分音频率为整数倍关系的理论音色。为了让大家理解减法合成的含义，让我们以在该理论音色的基础上，通过减法合成的方法，合成一个双簧管音色作为减法合成实践的开始。

一、音色分析

本部分内容包括以下几个部分：首先对该音色进行特征描述、然后根据绘制的算法框图进行算法分析。

1. 音色特征描述

双簧管(Oboe)独特的音色是交响乐队调色板中一抹重要的色彩。其独特略富哀怨的音色特别适宜演奏长线条、抒情性的音乐段落。当使用双簧管演奏速度较慢的长线条音乐时，其音色力度有渐强的趋势；整个音色会伴有自然颤音，但颤音发生时间有延时；随着时间的推移，颤音深度及速率也有逐渐增大的趋势。

2. 绘制算法框图

根据上面的音色特征，我们绘制出采用减法合成方法合成双簧管音色的算法框图，见图 4.1.01 减法合成双簧管音色流程图：

参数	Fq1	Fq2	Fq3	Fq4	Fq5
取值	Fq1	Fq1*2	Fq1*3	Fq1*4	Fq1*5

表 4.1.01 减法合成双簧管音色振荡器频率参数

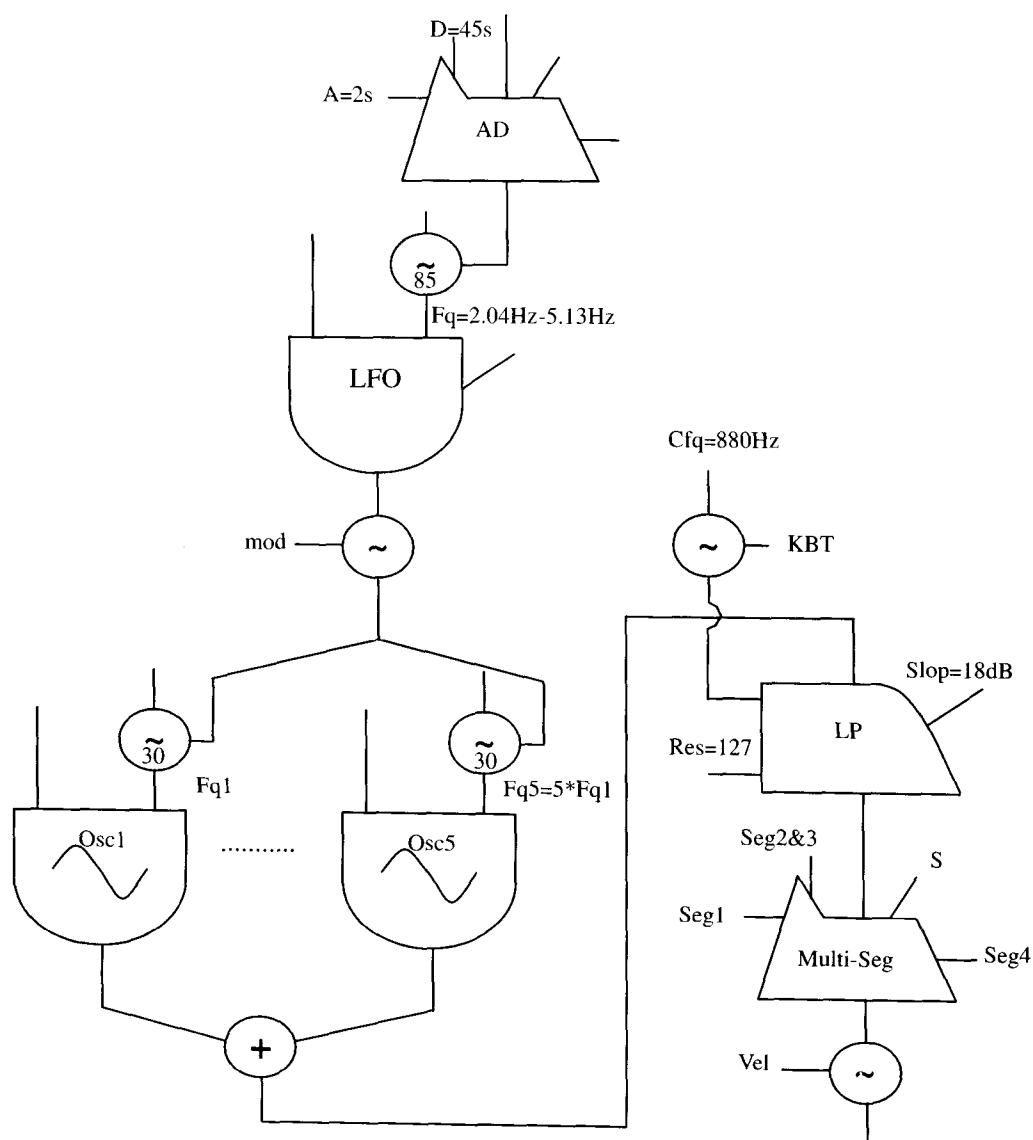


图 4.1.01 减法合成双簧管音色流程图

阶段	Seg1	Seg 2	Seg 3	S	Seg 4
时间	21ms	219ms	738ms		15ms
取值	50	34	64	64	0

表 4.1.02 减法合成双簧管音色多段包络发生器参数

3. 算法分析

按照图 4.1.01 中信号流程,我们对减法合成双簧管音色的操作步骤流程进行以下分析:

- 频率关系为整数倍关系(如表 4.1.01), 5 个正弦波振荡器 Osc1 至 Osc5 输出信号被相加在一起。
- 输出信号经低通滤波器进行声谱修饰。针对本例声谱而言,按照 18dB 的斜率,截止频率为 880Hz,共振为最大(127)的低通滤波器,使声谱产生双簧管的音色感受。
- 经包络发生器 Multi-Seg 获得音色力度随时间的变化。见表 4.1.02, Seg1(阶段 1)音色力度经 21 毫秒达到 50,相当于传统包络发生器的触发阶段; Seg2(阶段 2)音色力度经 219 毫秒下降到 34,相当于传统包络发生器的衰减阶段; Seg3(阶段 3)音色力度经 738 毫秒再次上升,到达最大值 64;经延留阶段 S 后, Seg4(阶段 4)音色力度经 15 毫秒下降为 0,相当于传统包络发生器的释放阶段。经包络发生器加工后的信号受演奏力度影响,跟随演奏力度的大小成比例变化。
- 滤波器截止频率随 KBT^①功能改变,表明声谱内容随演奏音高的变化。
- 振荡器的音高调制量为 30,决定颤音效果音程变化幅度的大小;施加于每个振荡器上的,频率范围从 2.04Hz 至 5.13Hz 的低频振荡器,给音色带来颤音速率不同的颤音效果。低频振荡器的输出受 MIDI 调制信息影响,决定颤音深度。
- 低频振荡器的速率受简单包络发生器影响的调制量为 85,决定低频振荡器的频率变化范围;简单包络发生器 AD 决定颤音速率从低频振荡器规定的最小值经 2 秒后达到最大值 5.13Hz,从最大颤音速率衰减到最小颤音速率 2.04Hz 的时间为 45 秒。

下面让我们根据音色分析的结果,通过 Nord Modular,按步骤完成减法合成双簧管音色的合成与制作工作。

二、获得静态声谱

获得静态声谱主要包括获得声源及对声谱进行修饰。

1. 获得声源

执行 GP11^②做好系统准备;执行 GP15 关闭目前所有音色窗口;执行 GP12 新建一音色,目标声部: A。

步骤 1:

考虑到本例中需要五个振荡器,而各个振荡器的作用只是产生声谱中的一个分音成份,因此使用属振荡器可以合理地利用资源:

操作 A: 执行 GP01 调用主振荡器 *MasterOsc*^③。

Nord Modular 的属振荡器有许多种,对本例而言,不要求属振荡器具有许多可控参数,

① 有关 Nord Modular 中的 KBT 功能请参阅第三章第 2 讲的音色讨论建议。

② 有关编号为 GP# 的全局操作的具体步骤请参阅本书阅读指南。

③ 使用斜体字表示的内容为 Nord Modular 中的模块名称或参数名称。

因此这里我们选择 *OscSineBank*(正弦振荡库)。该振荡器由六个子振荡器组成, *Osc1* 至 *Osc6* 纵向排列在一个模块中, 可以产生独立的六个正弦波:

操作 B: 执行 GP01 调用属振荡器 *OscSineBank*。

使振荡器 *OscSineBank1* 的音高随着振荡器 *MasterOsc1* 音高的变化而变化, 实现主振荡器对属振荡器的控制:

操作 C: 执行 GP03 连线, 起始端口: 振荡器 *MasterOsc1* 灰色方形 *Slv* 输出; 目标端口: 振荡器 *OscSineBank1* 灰色圆形 *Mst* 输入。



图 4.1.02 减法合成双簧管音色步骤 1

由于本音色共有五个分音, 因此我们选择属振荡器中的子振荡器 *Osc1* 至 *Osc5* 分别担任产生基频和 1 至 4 泛音的任务, 即 *Osc1* 的频率等于 F_{q1} , *Osc2* 至 *Osc5* 的频率分别等于 F_{q2} 至 F_{q5} , 根据表 4.1.01 中的数据, 执行以下操作, 完成对各振荡器频率的设定:

操作 D: 执行 5 次 GP05, 调整属振荡器 *OscSineBank1* 的参数 *Tune*, 分别将 *Osc1* 至 *Osc5* 的频率与主振荡器频率的比值设定为 1:1、2:1、3:1、4:1 和 5:1。

默认状态下, 属振荡器 *OscSineBank1* 的各子振荡器中只有 *Osc1* 是开启的, 我们需要另行开启 *Osc2* 至 *Osc5*, 解除对子振荡器 *Osc2* 至 *Osc5* 信号的输出管制:

操作 E: 点击 *Osc2* 至 *Osc5* 中带字母“M”的方形按钮  (激活哑音开关状态), 使其都变成这个状态:  (解除哑音开关状态)。

为将振荡器产生的信号输出, 听到声音, 我们需要调用音频输出模块:

操作 F: 执行 GP01 调用音频输出模块 *2 outputs*。

本例中振荡器与立体声音频输出模块间采用了串型连接:

操作 G^①: 执行 GP03 连线, 起始端口: 属振荡器 *OscSineBank1* 红色方形音频输出; 目标端口: 音频输出模块 *2 outputs1* 红色圆形音频输入 *L*。

操作 H: 执行 GP03 连线, 起始端口: 音频输出模块 *2 outputs1* 红色圆形音频输入 *L*;

① 为方便查找, 我们将在未来步骤中有可能被重新执行的步骤编码上增加了方框标记。

目标端口：音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 *R*。

现在我们已经可以听到声音了。通过音频输出模块 2 *outputs1* 上的哑音开关(默认状态为解除状态 )可以控制声音的送出与否。

执行 GP16 保存当前编辑音色，文件名：*01.pch。

这时，各模块之间关系见图 4.1.02 减法合成双簧管音色步骤 1：

读者也可以通过执行 GP13，文件名：Oboe01.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

现在我们听到的声音，与第三章加法合成理论音色时的声音完全一样，经过下面的声谱修饰，我们改变理论音色声谱的内容，使其呈现出双簧管音色的特质。

2. 修饰声谱

步骤 2：

根据图 4.1.01 中规定，调用传统低通滤波器：

操作 A：执行 GP01 调用传统低通滤波器 *FilterF*。

按图 4.1.01 中规定设定低通滤波器的斜率、截止频率及共振参数：

操作 B：点击低通滤波器 *FilterF1* 滤波器衰减曲线显示窗下面标有文字 18 的按钮  (默认状态)，使其变为这个状态： 。

操作 C：执行 GP05 将低通滤波器 *FilterF1* 的截止频率设定为 880Hz。

操作 D：执行 GP05 将低通滤波器 *FilterF1* 的共振值设定为 127。

在经滤波器将信号输出之前，需要将原来振荡器与音频输出模块的连接断开：

操作 E：执行 GP04 去掉步骤 1 操作 G 中的连线。

将振荡器输出信号送入滤波器，再由滤波器输出：

操作 F：执行 GP03 连线，起始端口：属振荡器 *OscSineBank1* 红色方形音频输出；目标端口：滤波器 *FilterF1* 红色圆形音频输入。

操作 G：执行 GP03 连线，起始端口：滤波器 *FilterF1* 红色方形音频输出；目标端口：音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 *L*。

通过音频输出模块 2 *outputs1* 上的哑音开关(默认状态为解除状态 )可以控制声音的送出与否。这时发现经过滤波器处理后，信号需要放大：

操作 H：执行 GP01 调用放大模块 *Amplifier*。

调整放大倍数：

操作 I：执行 GP05 将放大模块 *Amplifier1* 的放大倍数设定为 4。

在执行信号放大连接之前，需要将原来滤波器与音频输出模块的连接断开：

操作 J：执行 GP04 去掉步骤 2 操作 G 中的连线。

经放大模块将整体信号放大后输出：

操作 K：执行 GP03 连线，起始端口：滤波器 *FilterF1* 红色方形音频输出；目标端口：放大模块 *Amplifier1* 红色圆形音频输入。

操作 L：执行 GP03 连线，起始端口：放大模块 *Amplifier1* 红色方形音频输出；目标端口：音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 *L*。

通过音频输出模块 2 *outputs1* 上的哑音开关(默认状态为解除状态 **M**)可以控制声音的送出与否。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *02.pch。

这时, 各模块之间关系见图 4.1.03 减法合成双簧管音色步骤 2:

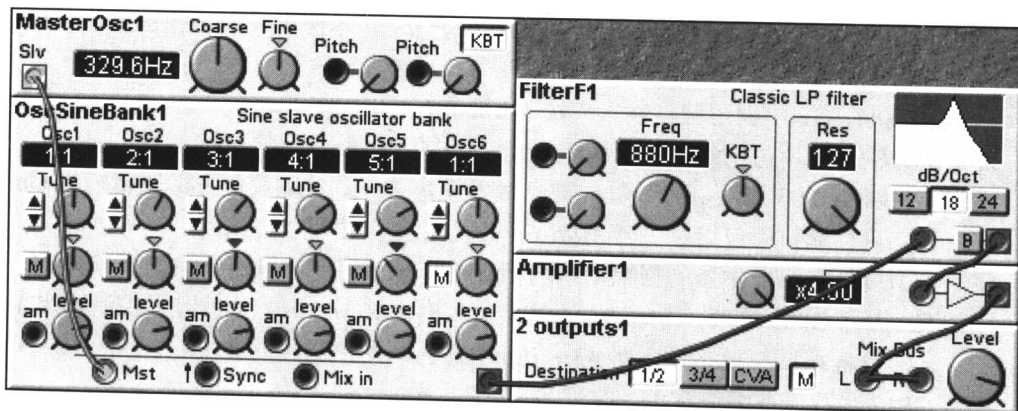


图 4.1.03 减法合成双簧管音色步骤 2

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: Oboe02.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

至此, 通过对基本声谱的滤波修饰, 我们已经完成了减法合成双簧管音色, 获得静态声谱的工作, 下面让我们获得动态的声谱响应。

三、获得动态声谱

就本例而言, 获得动态声谱的任务包括获得动态的音色力度随时间的变化和音色力度随演奏力度的变化^①。

步骤 3:

为了完成音色力度随时间的变化, 我们需要包络发生器来管理振荡器的输出信号, 这里为了模拟双簧管在演奏长音时的渐强效果, 我们选择多段包络发生器:

操作 A: 执行 GP01 调用包络发生器 *Multi-Env*。

根据表 4.1.02 中参数, 调整包络发生器参数:

操作 B: 执行 8 次 GP05, 分别将包络发生器 *Multi-Env1* 的参数 T1、T2、T3、T4、L1、L2、L3、L4 设定为 21ms、219ms、738ms、15ms、50、34、64、0。

在将包络发生器纳入系统之前, 需要解除以前放大器 *Amplifier1* 与音频输出模块 2 *outputs1* 的直接连接:

操作 C: 执行 GP04 去掉步骤 2 操作 L 中的连线。

^① 其实由于滤波器的 KBT 功能, 我们已经获得声谱内容随演奏音高的变化。

让放大器 *Amplifier1* 通过包络发生器 *Multi-Env1*, 连接到音频输出模块 2 *outputs1*:

操作 D: 执行 GP03 连线, 起始端口: 放大器 *Amplifier1* 红色方形音频输出; 目标端口: 包络发生器 *Multi-Env1* 红色圆形音频输入。

操作 E: 执行 GP03 连线, 起始端口: 包络发生器 *Multi-Env1* 红色方形音频输出; 目标端口: 音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 L。

Nord Modular 中能够发送逻辑触发信号的模块有很多, 本例中我们选择键盘输入模块, 以便通过 MIDI 键盘的琴键获得逻辑触发信号:

操作 F: 执行 GP01 调用键盘输入模块 *Keyboard*。

连接键盘输入模块与包络发生器模块:

操作 G: 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 黄色方形逻辑输出 *Gate*; 目标端口: 包络发生器 *Milti-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

将演奏力度与包络发生器的振幅调制端相连接, 激活演奏力度对音色力度的影响:

操作 H: 执行 GP01 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Vel*; 目标端口: 包络发生器 *AMiltiEnv1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *03.pch。

这时, 各模块之间关系见图 4.1.04 减法合成双簧管音色步骤 3:

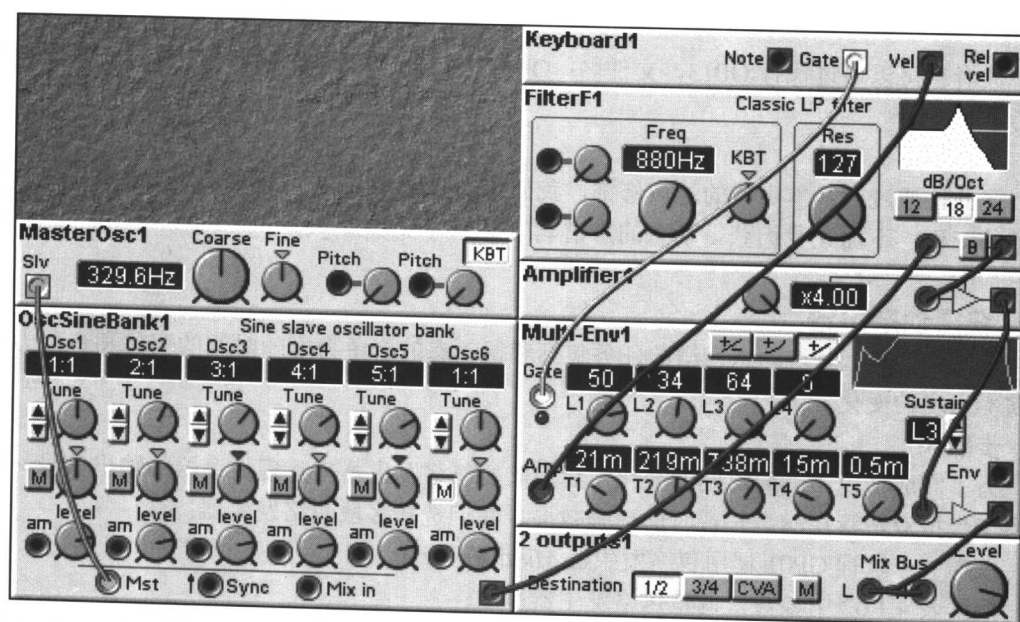


图 4.1.04 减法合成双簧管音色步骤 3

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: Oboe03.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

通过 MIDI 键盘或编辑软件提供的键盘工具, 我们可以实时地演奏该双簧管音色了。为了模拟双簧管音色的自然颤音及随时间变化的颤音速率, 并获得颤音深度的实时控制,

我们需要对该音色进行后音色修饰的工作。

四、后音色修饰

后音色修饰包括演奏控制及声音效果。就本例而言，我们的主要目的是为减法合成的双簧管音色添加可实时控制，并随时间变化的颤音演奏控制。首先获得双簧管音色的自然颤音效果。

步骤 4:

颤音属于音色的装饰性周期音高变化，实现该功能的主要工具是低频振荡器：

操作 A: 执行 GP01 调用低频振荡器 *LFOC*。

设置低频振荡器的频率，确定基本颤音速率。

操作 B: 执行 GP05 将低频振荡器 *LFOC1* 的速率参数 *Rate* 设定为 5.13Hz。

设定各振荡器音高调制量，本例我们使用了主振荡器对属振荡器的控制，因此只需调整主振荡器的音高调制量即可：

操作 C: 执行 GP05 将主振荡器 *MasterOsc1* 的音高调制量设定 30。

连接低频振荡器与主振荡器，获得自然颤音效果：

操作 D: 执行 GP03 连线，起始端口：低频振荡器 *LFOC1* 蓝色方形控制输出；目标端口：主振荡器 *MasterOsc1* 蓝色圆形控制输入(左)。

现在演奏该音色，可以听到按照固定颤音深度发声的颤音效果。接下来我们需要获得实时的颤音深度控制。

由于 Nord Modular 中的低频振荡器没有振幅调制参量，因此我们需要控制信号混合器的帮助。

操作 E: 执行 GP01 调用控制混合器 *ControlMixer*。

设定控制混合器输出大小，本例我们选择使用该混合器的第 2 路：

操作 F: 执行 GP05 将控制混合器 *ControlMixer1* 第 2 路输出量设定为 90。

通过控制混合器调控颤音深度之前，需要将原来低频振荡器与主振荡器音高调制的连接断开。

操作 G: 执行 GP04 去掉本步骤操作 D 中的连线。

通过控制混合器获得对颤音深度的控制：

操作 H: 执行 GP03 连线，起始端口：低频振荡器 *LFOC1* 蓝色方形控制输出；目标端口：控制混合器 *ControlMixer1* 第 2 路蓝色圆形控制输入。

操作 I: 执行 GP03 连线，起始端口：控制混合器 *ControlMixer1* 蓝色方形控制输出；目标端口：主振荡器 *MasterOsc1* 蓝色圆形控制输入(左)。

实现 MIDI 调制轮对颤音深度的控制：

操作 J: 执行 GP07，将 *ControlMixer1* 第 2 路输出调节旋钮的外部控制源设置为 1 号 MIDI 控制变化信息(调制信息)。

执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：*04.pch。

这时，各模块之间关系见图 4.1.05 减法合成双簧管音色步骤 4^①：

① 在 Nord Modular 的编辑软件中按 F9 才能看到图中显示的外部控制源信息号。

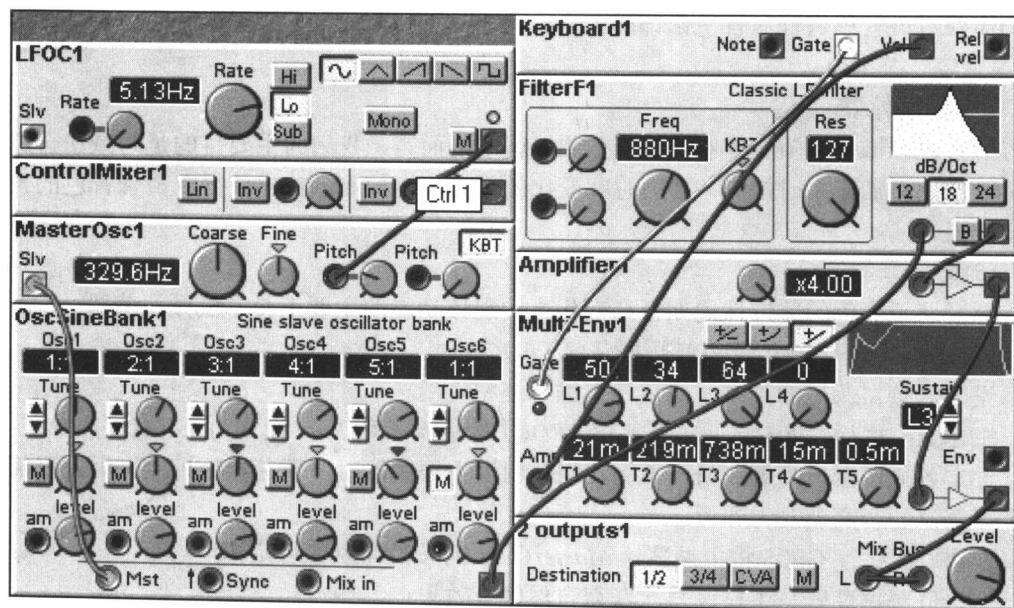


图 4.1.05 减法合成双簧管音色步骤 4

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: Oboe04.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

现在通过 MIDI 键盘的调制轮, 可以实时地控制双簧管音色的颤音深度了。为了模拟演奏长音时, 音色的颤音逐渐增加的效果, 最后, 我们需要获得颤音速率随时间的变化。

步骤 5:

获得参数随时间变化的主要工具是包络发生器, 根据图 4.1.01 所示, 本例也是采用包络发生器控制颤音速率随时间的变化:

操作 A: 执行 GP01 调用简单包络发生器 AD-Env。

根据图 4.1.01 中规定设置简单包络发生器参数:

操作 B: 执行 2 次 GP05, 分别将包络发生器 AD-Env1 的触发时间 A 和衰减时间 D 设定为 2 秒和 45 秒。

设置低频振荡器音高调制参量:

操作 C: 执行 GP05 将低频振荡器 LFOC1 的音高调制量设定为 85。

触发包络发生器, 以获得包络发生器对颤音速率的调制。

操作 D: 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 Keyboard1 黄色方形逻辑输出 Gate; 目标端口: 包络发生器 AD-Env1 黄色圆形逻辑输入。

获得颤音速率随时间的变化:

操作 E: 执行 GP03 连线, 起始端口: 包络发生器 AD-Env1 蓝色方形控制输出; 目标端口: 低频振荡器 LFOC1 蓝色圆形控制输入 Rate。

这时发现, 经过包络发生器调制的颤音速率过高, 需要重新调整:

操作 F: 执行 GP05 将低频振荡器 LFOC1 的频率设定为 2.04Hz。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *05.pch。

这时，各模块之间关系见图 4.1.06 减法合成双簧管音色步骤 5:

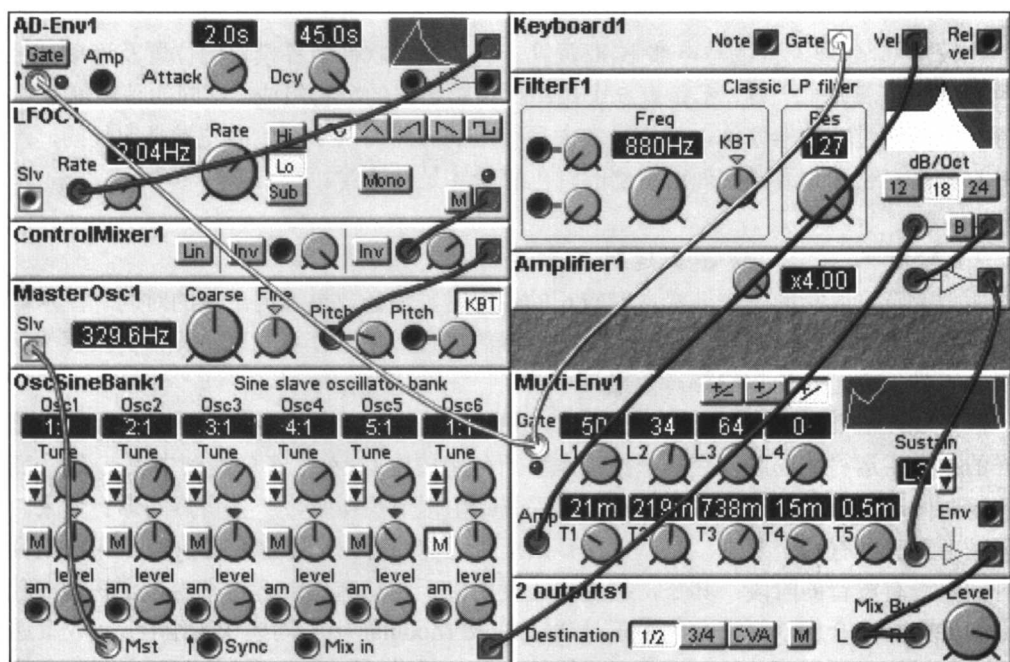


图 4.1.06 减法合成双簧管音色步骤 5

读者也可以通过执行 GP13，文件名：Oboe05.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

至此，我们完成了通过 Nord Modular，采用减法合成原理合成双簧管音色的工作。

五、音色讨论建议

针对减法合成的双簧管音色特点，我们对大家在音色制作完成之后，通过实践对该音色进行讨论分析的内容有如下建议：

1. 理解声谱修饰对音色的影响

本音色是在第三章第一讲中的理论音色之上，对声谱进行修饰后获得双簧管音色感受的。让我们通过比较理论音色与双簧管音色，理解声谱修饰对音色的影响，建议操作如下：

操作 A：执行 GP15 关闭所有音色窗口。

操作 B：执行 GP13 读取演示音色，文件名：FiveSine.pch；目标声部：A。

操作 C：执行 GP13 读取演示音色，文件名：Oboe03.pch；目标声部：B。

操作 D：选中声部 A，演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图，记住其音色感觉与声谱图形状。

操作 E: 选中声部 B, 演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图, 与操作 D 中的结果进行比较。

比较声部 A 理论音色与声部 B 双簧管音色在编辑软件中各模块的位置及连接, 两个音色的基本声源完全一样, 都是有 5 个频率比为整数倍的分音组成, 不同的是声部 B 中双簧管音色是通过滤波器修饰, 将信号放大后输出的。然而两个音色的差异是明显的, 声部 B 中的音色, 经过滤波器处理后得到的音色感受才是双簧管。

2. 理解本例中实现颤音延时的方法

所谓颤音延时指的是在演奏占时较长的音符时, 颤音效果推迟出现的时间。在乐器演奏时, 很多时候需要采用颤音延时获得更自然的颤音效果。让我们以小提琴的演奏为例, 分析一下带颤音延时的自然颤音效果:

假设现在需要在小提琴上演奏中央 C, 并带有颤音延时的颤音效果, 基本演奏步骤是这样的: 右手运弓的同时, 在第一把位左手无名指按住 G 弦 C 音位得到中央 C 的音高, 待一定时间后, 右手持续运弓的同时, 左手开始由慢至快揉弦, 产生自然的颤音效果。由上, 颤音延时中有两个要素。其一, 在开始揉弦之前, 有一个不揉弦的阶段, 即在颤音延时时间里没有颤音的阶段; 其二, 揉弦的速度由慢至快意味着颤音速率由慢至快地变化。

本讲中减法合成双簧管音色中正是通过 Nord Modular 中不同模块的组合, 完成上述两个要素, 模拟带颤音延时的自然颤音效果的。首先通过 MIDI 调制轮控制颤音延时, 建议操作如下:

操作 A: 执行 GP13 读取演示音色, 文件名: Oboe.pch; 目标声部: C。

操作 B: 执行 GP13 读取演示音色, 文件名: Oboe.pch; 目标声部: D。

操作 C: 选择声部 D, 执行 GP08, 取消控制混合器 *ControlMixer1* 第 2 路的外部控制源。

操作 D: 选中声部 C, 将 MIDI 调制轮参数设置为最小值, 以某音高、力度演奏一长音, 待经过一段时间后改变 MIDI 调制轮大小。

操作 E: 选中声部 D, 将 MIDI 调制轮设置为最小值, 与操作 D 中同样音高、力度演奏一长音, 待经过一段时间后改变 MIDI 调制轮大小, 与操作 D 进行比较。

声部 D 中的音色, 无论我们何时以及如何改变调制轮, 被演奏音高总是在一开始就带有颤音效果; 声部 C 中的音色, 由于受 MIDI 调制轮控制颤音深度, 因此在演奏音符之后, 改变调制轮之前, 我们听不到颤音效果, 也就是实现了颤音延时的目的。

其次, 通过包络发生器调制低频振荡器的速率, 模拟颤音速率由慢至快的变化, 建议操作如下:

操作 A: 执行 GP13 读取演示音色, 文件名: Oboe04.pch; 目标声部: C。

操作 B: 执行 GP13 读取演示音色, 文件名: Oboe05.pch; 目标声部: D。

操作 C: 选中声部 C, 以某音高、力度演奏一长音。

操作 D: 选中声部 D, 以操作 C 中同样音高、力度演奏一长音, 与操作 C 进行比较。

这时, 声部 C 中音色的颤音速率始终保持在 5.13Hz, 而声部 D 中的音色由于受到包络发生器触发时间 2 秒的调制, 缓慢地从 2.04Hz 加快直至最大颤音速率, 比较自然地模拟了乐器演奏中颤音速率地变化。

练习题:

- 一. 比较观察第三章第 1 讲理论音色与本讲音色(无颤音状态下)的波形、声谱的异同。
- 二. 按照本讲中的方法, 为第三章第 8 讲的“合成领奏”音色添加速率由慢至快的自然颤音效果。

第2讲 减法合成“风声”音色

本讲中，我们将通过减法合成的方法，合成自然界中的“风声”。

一、音色分析

本部分内容包括以下几个部分：首先对该音色进行特征描述、然后根据绘制的算法框图进行算法分析。

1. 音色特征描述

风声(Wind)是自然界中高速运动的空气产生的一种声音。风声中除了有隆隆的“咆哮”声之外，还有尖锐的哨音。一般来说，风速越大，风声就越大，哨音就越高。我们在室内和室外听到的风声略有差异。距离风声声源较远，也就是风距大的时候，我们听到的主要是风声的高频哨音；距离风声声源较近，也就是风距小的时候，除了整体声音的加强之外，我们还可以听到隆隆的低频声音。另外，风声的大小、哨音高低都随风速同步地发生变化。

2. 绘制算法框图

根据上面的音色特征，我们绘制出采用减法合成方法合成“风声”音色的算法框图，见图 4.2.01 减法合成“风声”音色流程图：

3. 算法分析

按照图 4.2.01 中信号流程，我们对加法合成理论音色的操作步骤流程分析如下：

- 由于风声音色的声谱极不谐和，构成风声音色主体的主体是噪音成份，因此采用噪声振荡器 Noise 是理想的选择。
- 低通滤波器完成风声的哨音效果。截止频率决定哨音音高，共振值取值决定哨音的大小。
- 输出前的包络发生器控制音色力度随时间的响应。3.5 毫秒的触发时间只是为避免触发噪声；最大延留值 64 使衰减时间失去真正的作用，可以忽略不计；1.5 秒的释放时间控制风声力度的渐弱速度。通过演奏力度对包络发生器输出信号的调制，得到音色力度随演奏力度的变化。
- 通过滤波器的 KBT^①功能，使风声的哨音音高随演奏音高的变化而改变，获得通过演奏音高控制基本风速的功能。
- 风速的自然变化意味着音色随时间产生周期性音高变化。由于本例中的哨音音高是通过共振滤波器的截止频率得到的，因此我们采用低频振荡器影响滤波器的截止频率，使音色产生结构性周期音高变化，模拟风速由慢到快，再由快至慢的现象。低通滤波器的音高调制量 20 决定风速的变化范围；低频振荡器的波形决定风速变化的趋势及模式；低频振荡器的速率决定风速变化的快慢。

^① 有关 Nord Modular 中的 KBT 功能请参阅第三章第二讲的音色讨论建议。

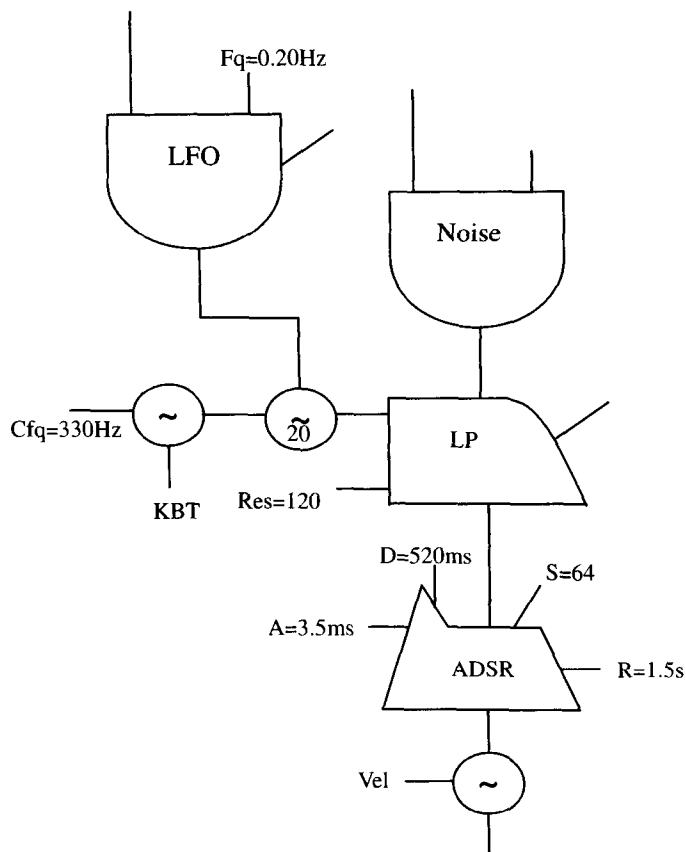


图 4.2.01 减法合成“风声”音色流程图

下面让我们根据音色分析的结果，通过 Nord Modular，按步骤完成减法合成“风声”音色的合成与制作工作。

二、获得静态声谱

获得静态声谱主要包括获得声源及对声谱进行修饰。

1. 获得声源

执行 GP11^①做好系统准备；执行 GP15 关闭目前所有音色窗口；执行 GP12 新建一音色，目标声部：A。

步骤 1：

调用复杂波形振荡器——噪声振荡器：

操作 A：执行 GP01 调用噪声振荡器 *Noise*^②。

通过音频输出模块输出噪声信号：

操作 B：执行 GP01 调用音频输出模块 2 *outputs*。

① 有关编号为 GP# 的全局操作的具体步骤请参阅本书附录三。

② 使用斜体字表示的内容为 Nord Modular 中的模块名称或参数名称。

操作 C^①: 执行 GP03 连线, 起始端口: 振荡器 *Noise1* 红色方形音频输出; 目标端口: 音频输出模块 2 *outputs 1* 红色圆形音频输入 *L*。

操作 D: 执行 GP03 连线, 起始端口: 音频输出模块 2 *outputs 1* 红色圆形音频输入 *L*; 目标端口: 音频输出模块 2 *outputs 1* 红色圆形音频输入 *R*。

通过音频输出模块 2 *outputs 1* 上的哑音开关(默认状态为解除状态 **M**)可以控制声音的送出与否。

执行 GP16 保存当前编辑音色, 文件名: *01.pch。

这时, 各模块之间关系见图 4.2.02 减法合成“风声”音色步骤 1:

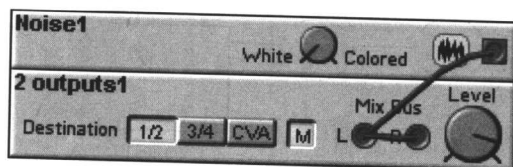


图 4.2.02 减法合成“风声”音色步骤 1

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: Wind01.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

目前听到的只是一片噪声, 虽然有一些风声的质感但是没有哨音等代表风声特质的效果。下面我们通过修饰声谱, 为音色中添加哨音。

2. 修饰声谱

步骤 2:

根据图 4.2.01 所示, 我们需要调用低通滤波器完成对声谱的修饰工作:

操作 A: 执行 GP01 调用多功能滤波器 *FilterD*。

操作 B: 执行 GP05 将多功能滤波器 *FilterD1* 的共振大小设定为 120。

在通过滤波器进行信号修饰之前, 需要将原来振荡器与音频输出模块的连接断开:

操作 C: 执行 GP04 去掉步骤 1 操作 C 中的连线。

将振荡器信号送入滤波器, 再经滤波器输出:

操作 D: 执行 GP03 连线, 起始端口: 振荡器 *Noise1* 红色方形音频输出; 目标端口: 滤波器 *FilterD1* 红色圆形音频输入。

操作 E: 执行 GP03 连线, 起始端口: 滤波器 *FilterD1* 红色方形音频输出 *LP*; 目标端口: 音频输出模块 2 *outputs 1* 红色圆形音频输入 *L*。

通过音频输出模块 2 *outputs 1* 上的哑音开关(默认状态为解除状态 **M**)可以控制声音的送出与否。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *02.pch。

^① 为方便查找, 我们将在未来步骤中有可能被重新执行的步骤编码上增加了方框标记。

这时，各模块之间关系见图 4.2.03 减法合成“风声”音色步骤 2:

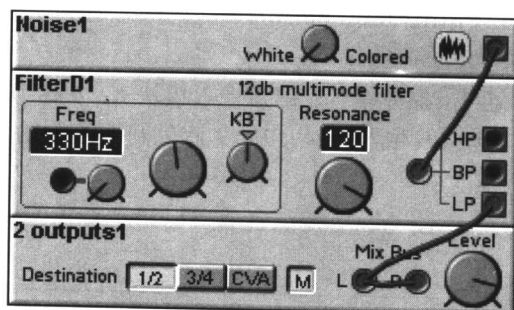


图 4.2.03 减法合成“风声”音色步骤 2

读者也可以通过执行 GP13，文件名：Wind02.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

至此，我们可以听带哨音的风声。如果想改变哨音的高度，以及让风速进行变化，需要完成声谱的动态响应。

三、获得动态声谱

就本例而言，获得动态声谱的任务包括获得动态的音色力度随时间及演奏力度的变化，以及声谱内容随时间的变化。

1. 获得音色力度随时间及演奏力度的变化

步骤 3:

调用包络发生器，为振荡器施加振幅包络，本例中调用了标准包络发生器：

操作 A: 执行 GP01 调用包络发生器 *ADSR-Env*。

根据图 4.2.01 设置包络发生器参数：

操作 B: 执行 2 次 GP05，将包络发生器 *ADSR-Env1* 的触发时间参数 *A* 和释放时间参数 *R* 分别设定为 3.4 毫秒和 1.5 秒。

调用键盘输入模块，采集演奏信息：

操作 C: 执行 GP01 调用键盘输入模块 *Keyboard*。

为包络发生器施加逻辑触发信号：

操作 D: 执行 GP03 连线，起始端口：键盘输入模块 *Keyboard1* 黄色方形逻辑输出 *Gate*；目标端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

在通过包络发生器控制振荡器振幅包络之前，需要将滤波器与音频输出模块的连接断开。

操作 E: 执行 GP04 去掉步骤 2 操作 E 中的连线。

通过包络发生器控制音色力度随时间的响应。

操作 F: 执行 GP03 连线，起始端口：滤波器 *FilterD1* 红色方形音频输出 *LP*；目标端

口：包络发生器 *ADSR-Env1* 红色圆形音频输入。

操作 G: 执行 GP03 连线，起始端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 红色方形音频输出；目标端口：音频输出模块 *2 outputs 1* 红色圆形音频输入 *L*。

获得音色力度随演奏力度的变化：

操作 H: 执行 GP03 连线，起始端口：键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Vel*；目标端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：*03.pch。

这时，各模块之间关系见图 4.2.04 减法合成“风声”音色步骤 3：

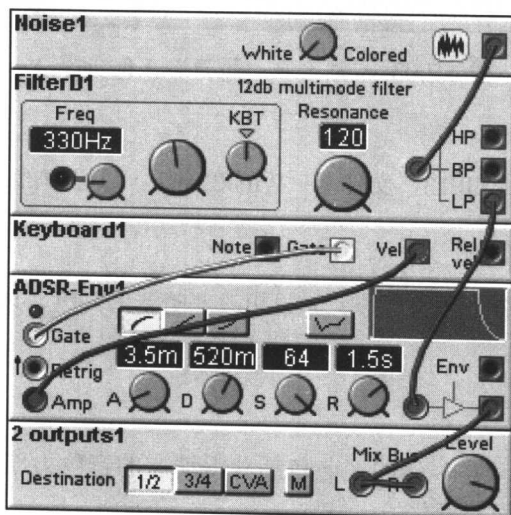


图 4.2.04 减法合成“风声”音色步骤 3

读者也可以通过执行 GP13，文件名：Wind03.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

2. 获得声谱内容随演奏音高及时间变化

由于 Nord Modular 中滤波器 KBT 功能默认状态为开，因此我们无需做任何操作已经获得声谱内容随演奏音高的变化，具体而言是分音频率随演奏音高的变化，带给我们的效果是，演奏音高越高，相应音色的风速越大；反之则越小。这里我们主要讨论获得声谱内容随时间变化的方法。

步骤 4:

根据算法分析，我们需要调用低频振荡器完成音色分音频率随时间的结构性周期音高变化，根据需要，我们选用接受逻辑触发的低频振荡器：

操作 A: 执行 GP01 调用低频振荡器 *LFOA*。

按照图 4.2.01 中规定设置低频振荡器参数：

操作 B: 执行 GP05 将低频振荡器 *LFOA1* 的频率参数 *Rate* 设定为每秒钟 0.2 次。

设置滤波器截止频率受低频振荡器影响的调制量：

操作 C：执行 GP05 将滤波器 *FilterD1* 的截止频率调制参量设定为 20。

获得风速随时间的周期性变化：

操作 D：执行 GP03 连线，起始端口：低频振荡器 *LFOA1* 蓝色方形控制输出；目标端口：滤波器 *FilterD1* 蓝色圆形控制输入。

为了每次演奏音符时，都获得风速由低至高再由高至低的效果，我们需要初始化低频振荡器的开始相位，方法是为低频振荡器施加逻辑初始化信号，为避免连线杂乱，采用从其它模块串联的方式：

操作 E：执行 GP03 连线，起始端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*；目标端口：低频振荡器 *LFOA1* 黄色圆形逻辑输入 *Rst*。

执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：*04.pch。

这时，各模块之间关系见图 4.2.05 减法合成“风声”音色步骤 4：

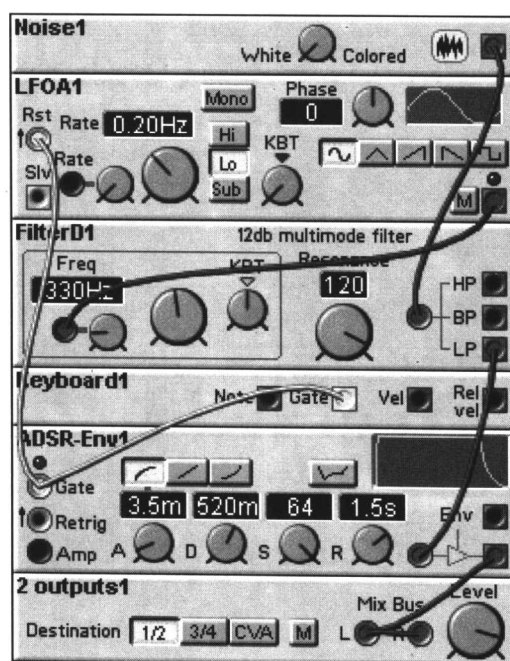


图 4.2.05 减法合成“风声”音色步骤 4

读者也可以通过执行 GP13，文件名：Wind04.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

现在演奏该音色，可以听到按照演奏音高为基本风速，周期性改变哨音音高的风声了。为更好地实时控制“风声”音色，如实时随机地改变风速等，我们为该音色中的个别模块参数设定外部控制源。

步骤 5:

已知本音色中控制风速的参数是滤波器的截止频率，我们只要为它设定外部控制源，就可以达到实时改变风速的目的：

操作 A：执行 GP07，将低频振荡器 *LFOA1* 截止频率旋钮的外部控制源设置为 Nord Moudlar 面板控制旋钮 15。

同时，为噪声振荡器的波形类型设置外部控制源可以达到控制风距的目的：

操作 B：执行 GP07，将噪声振荡器 *Noise1* 波形类型旋钮的外部控制源设置为 Nord Moudlar 面板控制旋钮 18。

执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：*05.pch。

这时，各模块之间关系见图 4.2.05 减法合成“风声”音色步骤 5^①：

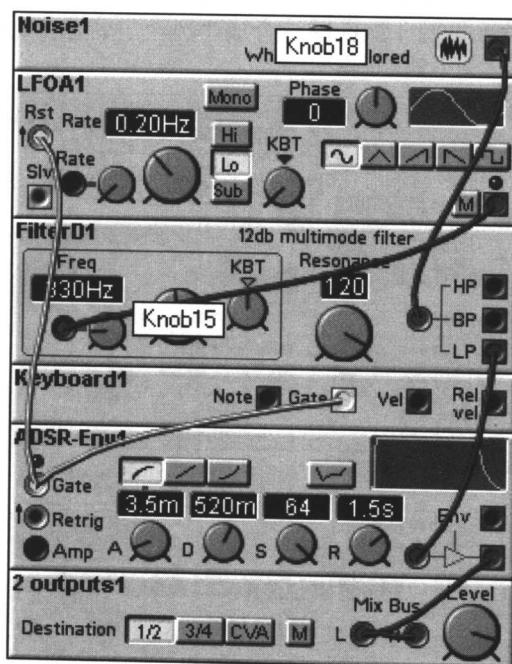


图 4.2.06 减法合成“风声”音色步骤 5

读者也可以通过执行 GP13，文件名：Wind05.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

至此，我们完成了通过 Nord Modular，采用减法合成原理合成“风声”音色的工作。

四、音色讨论建议

针对减法合成的“风声”音色特点，我们对大家在音色制作完成之后，通过实践对该

^① 在 Nord Modular 的编辑软件中按 F8 才能看到图中显示的外部控制源。

音色进行讨论分析的内容有如下建议:

1. 理解滤波器对声谱修饰的作用

滤波器是通过对复杂波形中的分音成份滤除或保留,达到对声谱的修饰作用的。本例由于采用了几乎包含所有分音,而且分音占用声学能量很大的噪音做声源,最能体现滤波器的作用。建议操作如下:

操作 A: 执行 GP15 关闭所有音色窗口。

操作 B: 执行 GP13 读取演示音色,文件名: Wind.pch; 目标声部: A。

操作 C: 执行 GP13 读取演示音色,文件名: Wind02.pch; 目标声部: B。

操作 D: 选择声部 A,演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图,记住其音色感觉与声谱图形状。

操作 E: 选择声部 B,演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图,与操作 D 进行比较。

经过比较发现,声部 A 中的音色几乎是一片噪音,而声部 B 中的音色由于经过滤波器的处理,频率 330Hz 以上的分音成份被按照 12 分贝的斜率滤除了,而且 120 的共振值强调了 330Hz 附近分音的振幅,带给了我们哨音的音高感受。让我们进一步比较,建议操作如下:

操作 F: 执行 GP13 读取演示音色,文件名: Wind02.pch; 目标声部: C。

操作 G: 选择声部 C,执行 GP04 去掉连线,起始端口: 滤波器 *FilterD1* 红色方形音频输出 *LP*; 目标端口: 包络发生器 *ADSR-Env1* 红色圆形音频输入。

操作 H: 选择声部 C,执行 GP03 连线,起始端口: 滤波器 *FilterD1* 红色方形音频输出 *BP*; 目标端口: 包络发生器 *ADSR-Env1* 红色圆形音频输入。

操作 I: 选择声部 C,演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图,与操作 E 进行比较。

通过操作 F 至 H,原来对声谱进行低通滤波处理的滤波器,变成了对声谱进行带通滤波处理的滤波器。这意味着 330Hz 附近的分音被保留下来,噪声声源中的其它分音成份按照默认斜率被滤除了。

比较操作 I 与操作 E 可以发现,声部 B 中的风声似乎离听者的距离要比声部 C 中的音色远。原因是声部 C 中的音色采用的带通滤除,结果是突显了反映风速的哨音效果,故而显得风距较大;而声部 B 中,采用低通滤除的音色,虽然共振也带来哨音感觉,但由于在截止频率下还有很多分音成份在发声,反而削弱了哨音的感觉,因此显得风距较小。

2. 理解本例中噪声振荡器的波形

所谓白噪声(White Noise)是指包含几乎所有听阈的分音成份,且各分音成分占有的声学能量基本相同的噪声声谱。白噪声是模拟光学中,包含所有可见光成分的白光光谱,故而得名白噪声。有色噪声(Color Noise)和粉红噪声(Pink Noise)声谱包含的分音数量与白噪声基本相当,最大的不同是随着分音频率的升高,分音所占声学能量呈递减的趋势。有色噪声和粉红噪也是模拟光学名词,得到的声学术语。

Nord Modular 中的噪声振荡器的波形，可以在白噪声和有色噪声之间自由过渡。让我们通过实践，看一看不同噪声波形对风声音色的影响，建议操作如下：

操作 A：执行 GP13 读取演示音色，文件名：Wind.pch；目标声部：D。

操作 B：选择声部 D，边旋转 Nord Modular 面板上的控制旋钮 18，边演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图。

当我们选择有色噪声波形时(旋钮在最右端)，由于高频分音能量少，因此我们听到的风声中包含很多的低频成分。高频能量减少，反言之就是低频能量增加，因此相对于选择白噪声(旋钮在最左端)时，带给我们的音色感受与其说高频能量减少，不如说是低频能量增加了。低频越多，越容易掩盖风声的哨音，低频越少则反而突显风声中的哨音。因此当选择白噪声时，哨音突出，带给我们的音色感受是风距较远；选择有色噪声时哨音被更多的低频掩盖，带给我们的音色感受是风距较近。因此，通过控制 Nord Modular 中噪声振荡器的波形类型，就本音色减法合成“风声”音色而言，可以达到控制风距的目的。

思考题：

第三章第 6 讲宇宙飞船音色由远至近的效果以及本讲音色中风声的变化，都是通过随时间改变声谱中分音频率的方法获得的，那么具体实践操作中，两种方法有什么不同？

第3讲 减法合成电贝司音色

本讲中，我们将通过减法合成的方法，合成一个电贝司音色。

一、音色分析

本部分内容包括以下几个部分：首先对该音色进行特征描述、然后根据绘制的算法框图进行算法分析。

1. 音色特征描述

电贝司(Electric Bass)是电声乐队中非常重要的低音乐器。其低沉稳重的声音往往作为整个音乐音响的基础；其强劲有力的音头往往与打击乐器一起，构成节奏的律动。音色低沉稳重意味着高频分音占有的声学能量较低频要小得多，强劲的音头表示电贝司在触发包络阶段的音色与其它阶段有差异。另外，当以不同力度演奏电贝司音色时，音头的质感略有差异。力度大时，音头与其它阶段的音色差异就大；力度小则差异就小。同时，随着演奏音高的不同，电贝司的音色也有不同的响应。

2. 绘制算法框图

根据上面的音色特征，我们绘制出采用减法合成方法合成电贝司音色的算法框图，见图 4.3.01 减法合成电贝司音色流程图：

3. 算法分析

按照图 4.3.01 中信号流程，我们对减法合成电贝司音色的操作步骤流程进行以下分析：

- 采用锯齿波振荡器作为减法合成电贝司音色的声源。由于常规演奏中贝司声谱的音区往往集中在 C2-C3 附近音域，因此为了演奏方便，我们将该振荡器的基础频率调低了八度。
- 通过斜率为 24db，截止频率为 698Hz，共振值为 40 的低通滤波器，对锯齿波声谱的修饰，获得电贝司音色的基础声谱。
- 通过包络发生器 ADSR 获得电贝司音色力度随时间的变化。音色力度仅以 4.2 毫秒的触发时间达到最大值表明音头很快；经过 103 毫秒音色力度衰减为延留阶段的 53；需要 30 毫秒的释放时间，电贝司音色的力度从 53 衰减至 0。包络发生器输出信号的大小受演奏力度影响，随演奏力度的变化而成比例变化。
- 滤波器默认开启的 KBT^①功能，使得音色的声谱内容，具有分音频率随演奏音高的基本变化能力。
- 通过简单包络发生器调制滤波器截止频率的方法，获得电贝司音色音头与其它阶段的音色差异。滤波器音高受包络发生器影响的调制量为 65，决定截止频率的变化幅度；极短的触发时间 3.2 毫秒使电贝司触发阶段声谱中包含大量高频分音；

^① 有关 Nord Modular 中的 KBT 功能请参阅第三章第二讲的音色讨论建议。

适宜的包络衰减时间使电贝司声谱从包含非常多的高频分音，以 201 毫秒的速度变成原截至频点作用下的声谱内容，造成强劲的音头效果。

- 影响滤波器截止频率的简单包络发生器的输出信号，受演奏力度影响，成比例变化，表明强演奏力度时，电贝司音头与其它阶段音色差异大，反之则差异小。
- 通过演奏音高调制滤波器截止频率的方法，获得电贝司音色随演奏音高的进一步变化。受演奏音高影响的调制量为 65，决定截止频率的变化幅度。

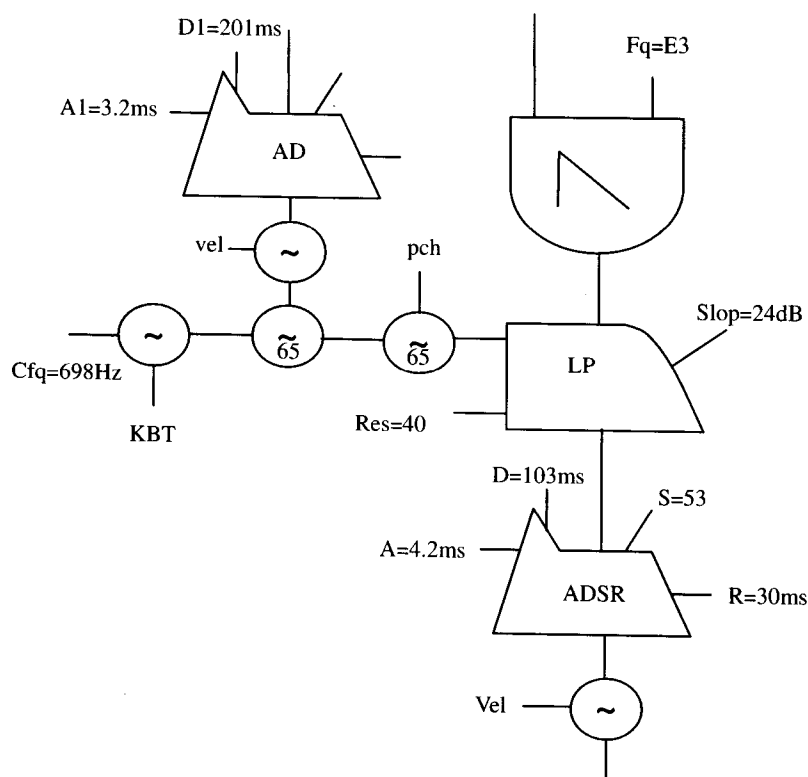


图 4.3.01 减法合成电贝司音色流程图

下面让我们根据音色分析的结果，通过 Nord Modular，按步骤完成减法合成电贝司音色的合成与制作工作。

二、获得静态声谱

获得静态声谱主要包括获得声源及对声谱进行修饰。

1. 获得声源

执行 GP11^①做好系统准备；执行 GP15 关闭目前所有音色窗口；执行 GP12 新建一音

① 有关编号为 GP#的全局操作的具体步骤请参阅本书附录三。

色，目标声部：A。

步骤 1:

Nord Modular 许多振荡器都可以产生锯齿波，根据我们需要选择占用资源较少的一种主振荡器：

操作 A: 执行 GP01 调用主振荡器 *OscB*^①。

选择振荡器产生的波形类型为锯齿波：

操作 B: 点击振荡器 *OscB1* 中标有锯齿波图形的按钮  (默认状态为关)，将其变为这个状态： (激活锯齿波)。

调整振荡器基础频率的音高，将其降低八度：

操作 C: 执行 GP05 将振荡器 *OscB1* 的基础频率 *Freq* 设定为 E3 或 164.8Hz。

输出振荡器信号：

操作 D: 执行 GP01 调用音频输出模块 2 *outputs*。

操作 E^②：执行 GP03 连线，起始端口：振荡器 *OscB1* 红色方形音频输出；目标端口：音频输出模块 2 *outputs 1* 红色圆形音频输入 L。

操作 F: 执行 GP03 连线，起始端口：音频输出模块 2 *outputs 1* 红色圆形音频输入 L；音频输出模块 2 *outputs 1* 红色圆形音频输入 R。

这时我们已经能够听到声音了，通过音频输出模块 2 *outputs1* 上的哑音开关(默认状态为解除状态 )可以控制声音的送出与否。

执行 GP16 保存当前编辑音色，文件名：*01.pch。

这时，各模块之间关系见图 4.3.02 减法合成电贝司音色步骤 1：

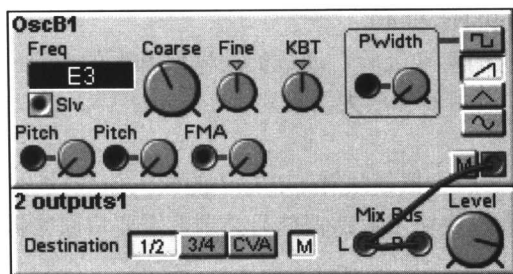


图 4.3.02 减法合成电贝司音色步骤 1

读者也可以通过执行 GP13，文件名：Bass01.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

2. 修饰声谱

步骤 2:

① 使用斜体字表示的内容为 Nord Modular 中的模块名称或参数名称。

② 为方便查找，我们将在未来步骤中有可能被重新执行的步骤编码上增加了方框标记。

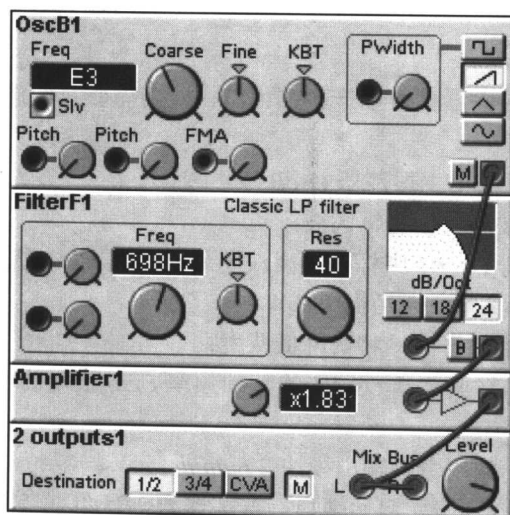


图 4.3.03 减法合成电贝司音色步骤 2

根据 4.3.01 所示, 我们需要调用滤波器对声谱进行修饰, 本例中采用传统低通滤波器:

操作 A: 执行 GP01 调用滤波器 *FilterF*。

设置滤波器参数, 由于 *FilterF* 的默认斜率就是 24dB, 因此我们不需要对斜率进行改变, 只设置截止频率和共振即可:

操作 B: 执行 2 次 GP05, 将滤波器 *FilterF1* 的截止频率参数 *Freq* 和共振参数 *Res* 分别设定为 698Hz 和 40。

根据常规以及前两讲的实践经验, 通过滤波器修饰后的声谱一般需要信号放大:

操作 C: 执行 GP01 调用信号放大器模块 *Amplifier*。

调整放大倍数:

操作 D: 执行 GP05, 放大器模块 *Amplifier1* 的放大倍数设置为 1.83。

在经过滤波器及放大模块输出振荡器信号之前, 需要将原来振荡器与音频输出模块的连接断开:

操作 E: 执行 GP04 去掉步骤 1 操作 E 中的连线。

将振荡器输出信号经滤波器和放大模块后实现音频输出:

操作 F: 执行 GP03 连线, 起始端口: 振荡器 *OscB1* 红色方形音频输出; 目标端口: 滤波器 *FilterF1* 红色圆形音频输入。

操作 G: 执行 GP03 连线, 起始端口: 滤波器 *FilterF1* 红色方形音频输出; 目标端口: 放大器模块 *Amplifier1* 红色圆形音频输入。

操作 H: 执行 GP03 连线, 起始端口: 放大器模块 *Amplifier1* 红色方形音频输出; 目标端口: 音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 L。

通过音频输出模块 2 *outputs1* 上的哑音开关(默认状态为解除状态 **M**)可以控制声音的送出与否。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *02.pch。

这时，各模块之间关系见图 4.3.03 减法合成电贝司音色步骤 2：

读者也可以通过执行 GP13，文件名：Bass02.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

至此，我们获得了减法合成电贝司音色的静态声谱。虽然声音已经基本具有电贝司音色的特征，但是要实现前文音色分析中要求的音色目的，还需要获得动态的声谱响应。

三、获得动态声谱

就本例而言，获得动态声谱的任务包括获得动态的音色力度随时间、演奏力度的变化以及声谱内容随时间、演奏力度和随演奏音高的补偿变化。

1. 获得音色力度随时间及演奏力度的变化

步骤 3：

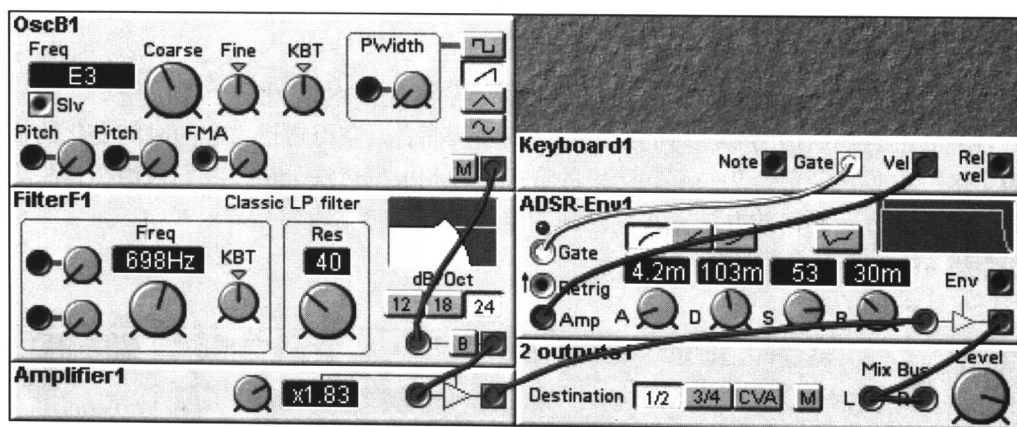


图 4.3.04 减法合成电贝司音色步骤 3

获得音色力度随时间的变化主要依靠包络发生器，本例中选择标准的 ADSR 包络发生器：

操作 A：执行 GP01 调用包络发生器 *ADSR-Env*。

按照图 4.3.01 中规定设置包络发生器参数：

操作 B：执行 4 次 GP05，将包络发生器 *ADSR-Env1* 的参数 A 和、D、S、R 分别设定为 4.2 毫秒、103 毫秒、53、30 毫秒。

通过键盘输入模块采集的演奏信息触发包络发生器：

操作 C：执行 GP01 调用键盘输入模块 *Keyboard*。

操作 D：执行 GP03 连线，起始端口：键盘输入模块 *Keyboard1* 黄色方形逻辑输出 *Gate*；目标端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

在通过包络发生器影响音色力度响应之前，需要将原来放大器模块与音频输出模块的连接断开：

操作 E：执行 GP04 去掉步骤 2 操作 H 中的连线。

通过包络发生器获得音色力度随时间的变化：

操作 F：执行 GP03 连线，起始端口：放大器模块 *Amplifier1* 红色方形音频输出；目标

端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 红色圆形音频输入。

操作 G： 执行 GP03 连线，起始端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 红色方形音频输出；目标端口：音频输出模块 *2 outputs 1* 红色圆形音频输入 *L*。

获得音色力度随演奏力度的变化：

操作 H： 执行 GP03 连线，起始端口：键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Vel*；目标端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：*03.pch。

这时，各模块之间关系见图 4.3.04 减法合成电贝司音色步骤 3：

读者也可以通过执行 GP13，文件名：Bass03.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

为模拟电贝司音色音头与其它阶段的音色差异，我们必须获得电贝司音色声谱内容的动态变化。

2. 获得声谱内容随时间、演奏力度及演奏音高的变化

首先我们获得声谱内容随时间的变化。就本例而言，获得声谱内容随时间变化的目的是为了区分电贝司音色音头与其它阶段的音色。因此根据算法分析，我们采用在音头阶段瞬时改变声谱分音频率的办法，实现强劲的电贝司音头感觉。

步骤 4：

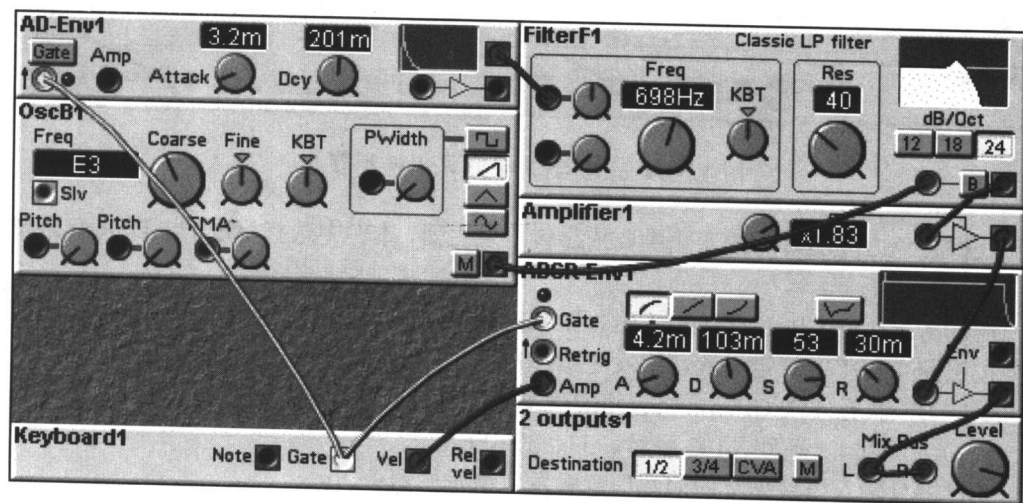


图 4.3.05 减法合成电贝司音色步骤 4

瞬时改变声谱分音频率的方法有很多，我们这里选择通过包络发生器调制滤波器截止频率的方法。根据算法分析，我们只需要调用简单包络发生器：

操作 A： 执行 GP01 调用包络发生器 *AD-Env*。

按照图 4.3.01 中规定设定简单包络发生器的参数：

操作 B： 执行 2 次 GP05，将包络发生器 *AD-Env1* 的触发时间参数 *A* 和衰减时间参数 *R* 分别设定为 3.2 毫秒和 201 毫秒。

设置滤波器截止频率调制量。滤波器 *FilterF1* 有两个截止频率调制旋钮，本例中选择上面的旋钮：

操作 C：执行 GP05，将滤波器 *FilterF1* 的截止频率调制量(上)设定为 65。

为包络发生器施加逻辑触发信号：

操作 D：执行 GP03 连线，启始端口：键盘输入模块 *Keyboard1* 黄色方形逻辑输出 *Gate*；
目标端口：包络发生器 *AD-Env1* 黄色圆形逻辑输入。

通过包络发生器影响滤波器的截止频率：

操作 E：执行 GP03 连线，启始端口：包络发生器 *AD-Env1* 蓝色方形控制输出；目标端口：滤波器 *FilterF1* 蓝色圆形控制输入(上)。

执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：*04.pch。

这时，各模块之间关系见图 4.3.05 减法合成电贝司音色步骤 4：

读者也可以通过执行 GP13，文件名：Bass04.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

至此，减法合成电贝司音色的音头已经可以清晰地区分于其它阶段的音色了。根据音色分析，通过以下操作我们获得声谱内容随演奏力度及演奏音高的变化。

步骤 5：

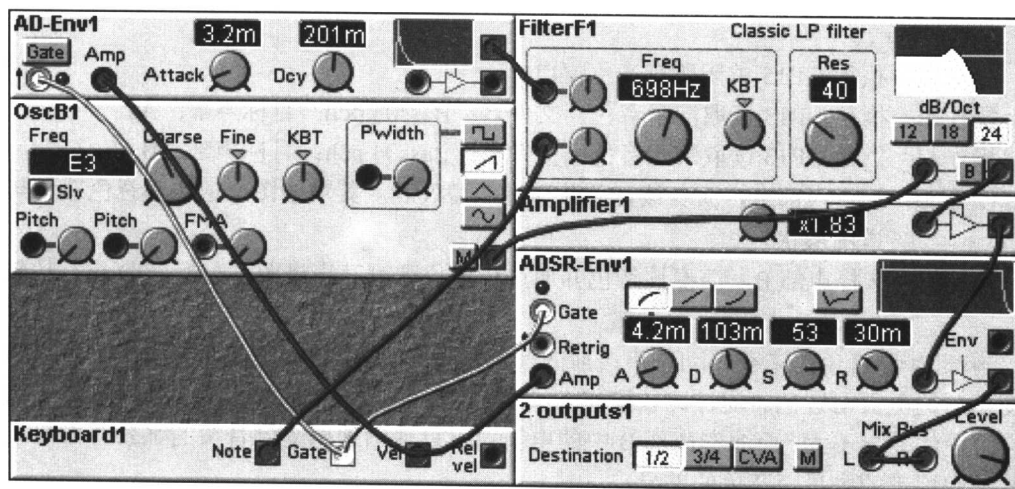


图 4.3.06 减法合成电贝司音色步骤 5

就本例而言，通过演奏力度影响音头的音色质感的内容含义，就是让滤波器的截止频率受演奏力度的调制。由于本例中滤波器的截止频率已经受包络发生器的调制，我们只需让演奏力度影响包络发生器的输出，就能达到通过演奏力度控制滤波器截止频率的目的：

操作 A：执行 GP03 连线，启始端口：键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Vel*；
目标端口：包络发生器 *AD-Env1* 蓝色圆形控制输入。

由于 Nord Modular 中滤波器的 KBT 功能，我们其实已经具备随演奏音高自动调整截止频率的功能，这里的工作，是为了进一步获得分音频率随演奏音高的补偿变化：

操作 B: 执行 GP05, 将滤波器 *FilterF1* 的截止频率调制量(下)设定为 65。

操作 C: 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *KeyboardI* 蓝色方形控制输出 *Note*;
目标端口: 滤波器 *FilterF1* 蓝色圆形控制输入(下)。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *05.pch。

这时, 各模块之间关系见图 4.3.06 减法合成电贝司音色步骤 5:

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: Bass05.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

至此, 我们完成了通过 Nord Modular, 采用减法合成原理合成电贝司音色的工作。

四、音色讨论建议

针对减法合成的电贝司音色特点, 我们对大家在音色制作完成之后, 通过实践对该音色进行讨论分析的内容有如下建议:

1. 理解动态声谱内容对音色的影响

一般来说, 静态声谱使声音获得基本的音色感受, 动态声谱才能使音色被演奏时, 符合自然音色发声的种种规律或我们设定的发声逻辑。就本例而言, 动态声谱赋予电贝司音色最大的影响是区分了电贝司音色的音头与其它阶段的音色, 使电贝司的音头具有强劲的感觉。建议操作如下:

操作 A: 执行 GP15 关闭所有音色窗口。

操作 B: 执行 GP13 读取演示音色, 文件名: Bass03.pch; 目标声部: A。

操作 C: 执行 GP13 读取演示音色, 文件名: Bass04.pch; 目标声部: B。

操作 D: 选择声部 A, 演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图, 记住其音色感觉与声谱图形状。

操作 E: 选择声部 B, 演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图, 与操作 D 进行比较。

声部 A 中音色为未获得动态声谱前的音色, 声部 B 中的音色是获得了声谱内容随时间变化后的电贝司音色。通过比较操作 E 与操作 D 不难发现, 声部 A 中的音色, 音头与其它阶段的差异不大, 而演奏声部 B 中的电贝司可以清晰地感受到音头的强劲有力与其它阶段圆润饱满的电贝司音色的差异。

另外, 在包络发生器衰减时间不变的情况下, 调整滤波器的共振值, 可以获得另一种不同的音头效果。建议操作如下:

操作 F: 选择声部 B, 执行 GP05 将滤波器 *FilterF1* 的共振参数设定为 85。

操作 G: 选择声部 B, 演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图。

操作 H: 选择声部 B, 执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *.pch。

通过操作 G 演奏声部 B 中的音色, 这时的电贝司就是平时被称为“橡皮贝司(Rubber Bass)”的音色。电贝司的音头多了一个像蛙音似的音响效果。造成这样效果的原因是: 较大的共振参数加大了截止频率附近分音的共振, 但是由于包络发生器的调制, 截止频率在

201 毫秒, 很短的时间内降低了许多, 这意味着被共振强化的分音频率也随之快速变化, 且是由高至低的变化, 造成了电贝司音头短暂的蛙音效果。

2. 理解本例中获得分音频率随演奏力度变化的方法

本例中我们是通过让演奏力度调制影响滤波器截止频率的包络发生器的输出, 获得分音频率随演奏力度的变化的。一般情况下, 可以直接通过演奏力度对滤波器截止频率的调制, 建议操作如下:

操作 A: 执行 GP15 关闭所有音色窗口。

操作 B: 执行 GP13 读取演示音色, 文件名: Bass04.pch; 目标声部: C。

操作 C: 执行 GP13 读取演示音色, 文件名: Bass04.pch; 目标声部: D。

操作 D: 选择声部 C, 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Vel*; 目标端口: 包络发生器 *AD-Env1* 蓝色圆形控制输入。

通过以上操作, 我们按照本例原来的方法, 通过包络发生器实现分音频率随演奏力度的变化, 建议通过以下操作直接获得分音频率随演奏力度的变化, 然后进行比较。

操作 E: 选择声部 D, 执行 GP05, 将滤波器 *FilterF1* 的截止频率调制量(下)设定为 30。

操作 F: 选择声部 D, 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Vel*; 目标端口: 滤波器 *FilterF1* 蓝色圆形控制输入(下)。

操作 G: 选择声部 C, 演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图, 记住其音色感觉与声谱图形状。

操作 H: 选择声部 D, 演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图, 与操作 D 进行比较。

通过操作 H 我们可以发现, 虽然分音频率可以随演奏力度变化, 同时也受包络发生器的影响随时间变化, 但如果演奏力度很强时, 受演奏力度影响的过高的截止频率不仅对音头有影响, 同样影响了音色的其它阶段, 因此反而失去了音头音色与其它阶段的差异对比。然而就本例而言, 获得分音频率随演奏力度变化的目的, 是在区分音头与其它阶段的音色差异的基础上, 使得强力度演奏的电贝司时保留该差异, 而弱力度演奏时减少这种差异性。因此, 在本例加法合成电贝司音色中, 我们选择了通过演奏力度调制影响滤波器截止频率的包络发生器输出的方法, 获得分音频率随演奏力度的变化。

练习题:

- 一. 比较观察获得动态声谱内容变化前后, 电贝司音色波形及声谱变化的异同。
- 二. 试按照本讲中音色讨论建议中思路, 使演奏电贝司音色时, 音头具有两次蛙音效果。

第4讲 减法合成弦乐音色

本讲中，我们将通过减法合成的方法，合成一个弦乐音色。

一、音色分析

本部分内容包括以下几个部分：首先对该音色进行特征描述、然后根据绘制的算法框图进行算法分析。

1. 音色特征描述

弦乐(String)音色是指交响乐队中数十把小提琴、中提琴、大提琴等群奏时的音色。小提琴等乐器音色本身声谱中就包含大量分音，又由于数十件乐器中，各乐器的音质、演奏音高有着诸多差异，因此弦乐音色的声谱中包含大量不谐和成份。随着演奏力度的不同，弦乐的音色有差异，主要表现在强力度演奏时音色要比弱力度演奏时明亮一些。另外，由于演奏技法的不同音色差异也很大，如连弓和断奏音色的差异。

2. 绘制算法框图

根据上面的音色特征，我们绘制出采用减法合成方法合成弦乐音色的算法框图，见图4.4.01 减法合成弦乐音色流程图：

3. 算法分析

按照图4.4.01中信号流程，我们对减法合成弦乐音色的操作步骤流程分析如下：

- 通过三个基础频率非常接近的锯齿波振荡器相加的方式，模拟弦乐音色的基本声谱成份。
- 采用斜率为12dB，0共振的523Hz截止频率的带通滤波器进一步修饰声谱，获得较准确的弦乐声谱内容。
- 通过包络发生器ADSR获得音色力度随时间的变化。1.3秒的触发时间，表明弦乐音色振幅以比较缓慢的速度达到最大值；然后经过520毫秒的衰减达到延留阶段的58.5；释放阶段弦乐音色振幅经过738毫秒衰减至最小。通过演奏力度控制音色的力度变化。
- 连奏和断奏音色，主要体现在音色力度随时间的响应不同。连奏时音色触发阶段的力度响应比较缓慢地达到最大值，而断奏时正好相反。而且，一般演奏弦乐音色时，希望强力度获得的是断奏效果，弱力度获得连奏效果。因此，我们可以试图通过演奏力度来获得不同的演奏方式效果。具体方法是通过演奏力度调制包络发生器的触发时间，模拟连奏和断奏时的弦乐音色。包络发生器触发时间调制量为-50。
- 音色明亮表示声谱中的高频分音占有的声学能量大，反之则表示音色感觉比较暗淡。如果想通过演奏力度的不同，体现音色不同的明暗度，只要设法让声谱中的分音频率及振幅随演奏力度变化，就可以达到上述目的。而减法合成中，控制声

谱内容变化的主要工具是滤波器，我们只要通过演奏力度对滤波器截止频率进行调制，即可获得音色明暗度随演奏力度的变化。调制量为 20，决定受演奏力度影响的滤波器截止频率的变化幅度。

- 滤波器默认的 KBT^①功能使音色可以随演奏音高发生变化。

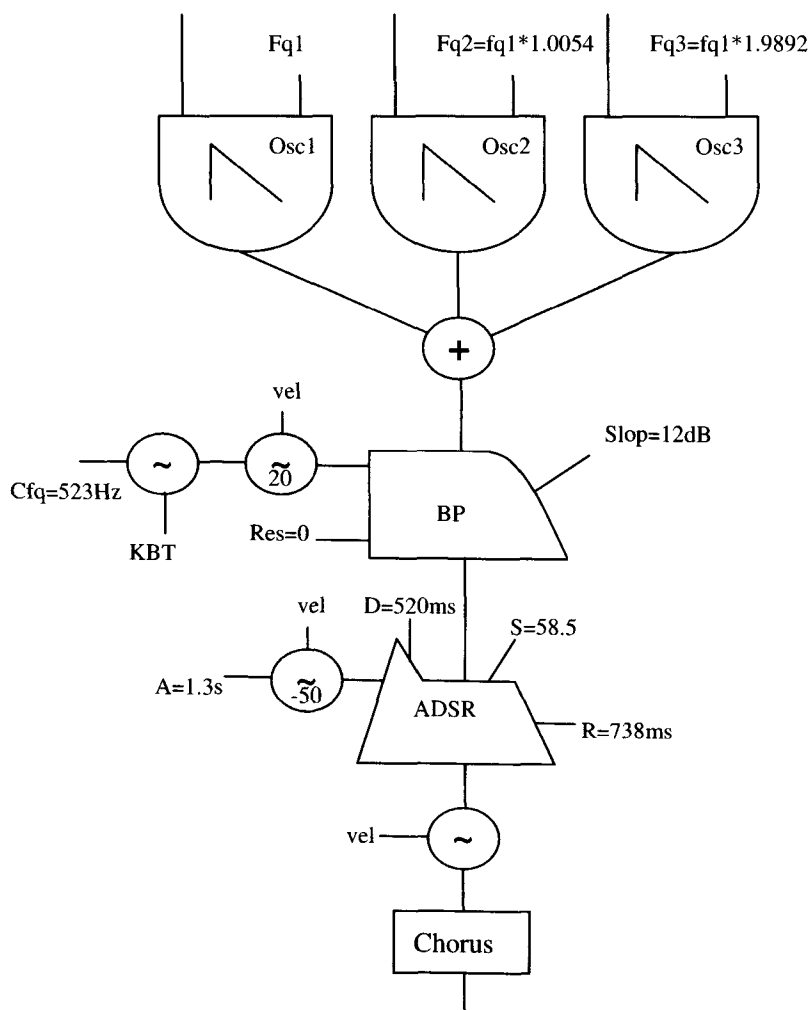


图 4.4.01 减法合成弦乐音色流程图

下面让我们根据音色分析的结果，通过 Nord Modular，按步骤完成减法合成弦乐音色的合成与制作工作。

二、获得静态声谱

① 有关 Nord Modular 中的 KBT 功能请参阅第三章第二讲的音色讨论建议。

获得静态声谱主要包括获得声源及对声谱进行修饰。

1. 获得声源

执行 GP11^①做好系统准备；执行 GP15 关闭目前所有音色窗口；执行 GP12 新建一音色，目标声部：A。

步骤 1:

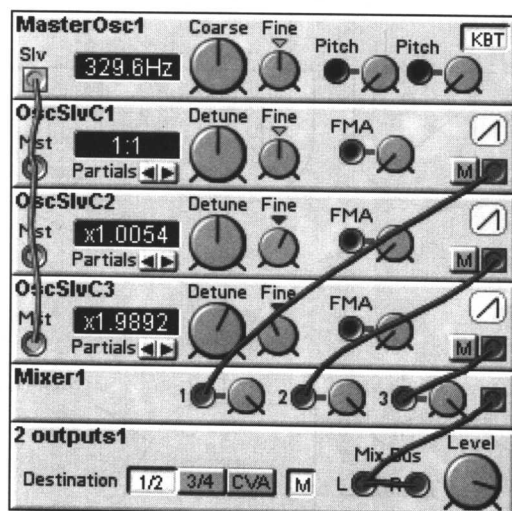


图 4.4.02 减法合成弦乐音色步骤 1

根据算法分析，我们需要三个产生锯齿波的振荡器，为节省资源我们决定采用属振荡器。当然，首先需要调用主振荡器：

操作 A：执行 GP01 调用主振荡器 *MasterOsc*^②。

调用专门产生锯齿波的属振荡器：

操作 B：执行 3 次 GP01，调用 3 个属振荡器 *OscSlvC*。

按照图 4.4.01 中规定调整属振荡器频率比：

操作 C：执行 GP05 将属振荡器 *OscSlvC1* 至 *OscSlvC3* 频率与主振荡器频率的比值设定为 1:1、1:1.0054 和 1:1.9892。

采用串型连接方式激活主振荡器对属振荡器的控制：

操作 D：执行 3 次 GP03 连线，起始端口：振荡器 *MasterOsc1* 灰色方形 *Slv* 输出；目标端口按串型方式分别为：振荡器 *OscSlv1* 至 *OscSlv3* 的灰色圆形 *Mst* 输入。

调用混合器将振荡器信号相加：

操作 E：执行 GP01 调用混合器 *3 inputs Mixer*。

操作 F：执行 3 次 GP03 连线，起始端口分别为：振荡器 *OscSlv1* 至 *OscSlv3* 的红色方形音频输出；目标端口分别为：混合器 *Mixer 1* 的红色圆形音频输入 1 至 3。

调用音频输出模块，将相加后的振荡器信号输出：

① 有关编号为 GP# 的全局操作的具体步骤请参阅本书附录三。

② 使用斜体字表示的内容为 Nord Modular 中的模块名称或参数名称。

操作 G: 执行 GP01 调用音频输出模块 2 outputs。

操作 H^①: 执行 GP03 连线, 起始端口: 混合器 Mixer 1 红色方形音频输出; 目标端口: 音频输出模块 2 outputs 1 红色圆形音频输入 L。

操作 I: 执行 GP03 连线, 起始端口: 音频输出模块 2 outputs 1 红色圆形音频输入 L; 目标端口: 音频输出模块 2 outputs 1 红色圆形音频输入 R。

这时我们已经能够听到声音了, 通过音频输出模块 2 outputs 1 上的哑音开关(默认状态为解除状态 M)可以控制声音的送出与否。

执行 GP16 保存当前编辑音色, 文件名: *01.pch。

这时, 各模块之间关系见图 4.4.02 减法合成弦乐音色步骤 1:

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: String01.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

通过以上操作, 我们获得了减法合成弦乐音色的基本声源, 要想获得准确的弦乐音色静态声谱, 我们需要对基本声谱进行修饰。

2. 修饰声谱

步骤 2:

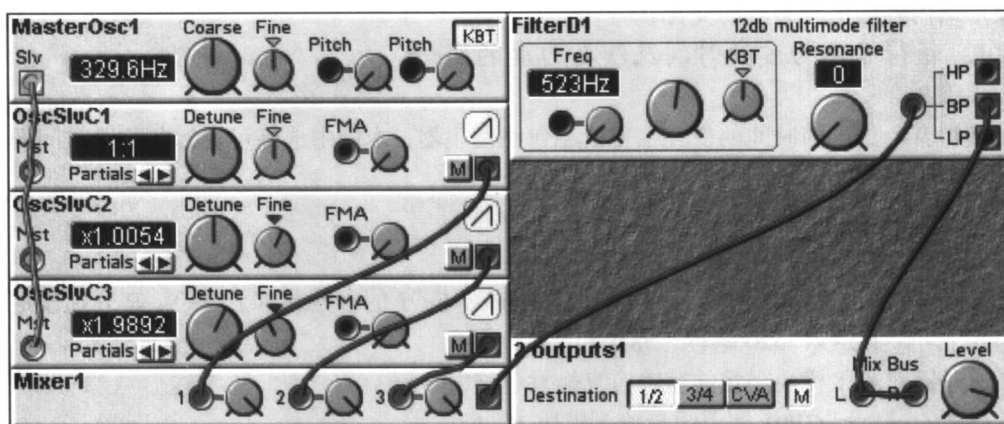


图 4.4.03 减法合成弦乐音色步骤 2

调用多功能滤波器, 对声谱进行修饰:

操作 A: 执行 GP01 调用滤波器 FilterD。

由于 FilterD 的默认斜率和共振参数符合图 4.4.01 中的规定, 因此我们只需按要求设置滤波器的截止频率:

操作 B: 执行 GP05 将滤波器 FilterD1 的截止频率设定为 523Hz。

在通过滤波器对声谱进行修饰之前, 需要断开原来混合器与音频输出模块的连接:

① 为方便查找, 我们将在未来步骤中有可能被重新执行的步骤编码上增加了方框标记。

操作 C: 执行 GP04 去掉步骤 1 操作 H 中的连线。

通过滤波器将振荡器相加信号输出:

操作 D: 执行 GP03 连线, 起始端口: 混合器 *Mixer 1* 红色方形音频输出; 目标端口: 滤波器 *FilterD1* 红色圆形音频输入。

操作 E: 执行 GP03 连线, 起始端口: 滤波器 *FilterD1* 红色方形音频输出 *BP*; 目标端口: 音频输出模块 2 *outputs 1* 红色圆形音频输入 *L*。

通过音频输出模块 2 *outputs 1* 上的哑音开关(默认状态为解除状态)可以控制声音的送出与否。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *02.pch。

这时, 各模块之间关系见图 4.4.03 减法合成弦乐音色步骤 2:

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: String02.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

至此, 我们获得了减法合成弦乐音色的静态声谱。虽然声音已经基本具有弦乐音色的特征, 但是要实现前文音色分析中要求的音色目的, 还需要获得动态的声谱响应。

三、获得动态声谱

就本例而言, 获得动态声谱的任务包括获得动态的音色力度随时间、演奏力度的变化以及声谱内容随演奏力度的变化。

1. 获得音色力度随时间及演奏力度的变化

步骤 3:

获得音色力度随时间的变化主要依靠包络发生器, 本例中选择可进行各阶段时间调制的包络发生器:

操作 A: 执行 GP01 调用包络发生器 *Mod-Env*。

按照图 4.4.01 中规定设置包络发生器参数:

操作 B: 执行 4 次 GP05, 将包络发生器 *Mod-Env1* 的参数 *A* 和、*D*、*S*、*R* 分别设定为 1.3 秒、520 毫秒、58.5 和 738 毫秒。

通过键盘输入模块采集的演奏信息触发包络发生器:

操作 C: 执行 GP01 调用键盘输入模块 *Keyboard*。

操作 D: 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 黄色方形逻辑输出 *Gate*; 目标端口: 包络发生器 *Mod-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

在通过包络发生器影响音色力度响应之前, 需要将原来滤波器模块与音频输出模块的连接断开:

操作 E: 执行 GP04 去掉步骤 2 操作 E 中的连线。

通过包络发生器获得音色力度随时间的变化:

操作 F: 执行 GP03 连线, 起始端口: 滤波器 *FilterD1* 红色方形音频输出; 目标端口: 包络发生器 *Mod-Env1* 红色圆形音频输入。

操作 G: 执行 GP03 连线, 起始端口: 包络发生器 *Mod-Env1* 红色方形音频输出; 目标端口: 音频输出模块 2 *outputs 1* 红色圆形音频输入 *L*。

获得音色力度随演奏力度的变化:

操作 H: 执行 GP03 连线, 启始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Vel*;
目标端口: 包络发生器 *ADSR-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

一般弦乐音色需要演奏和声性的音乐, 因此需要更多的发音数:

操作 I: 找到软件编辑器下拉式菜单下面标示的发音数(Voices)显示窗旁边带左右箭头的按钮, 将所需发音数调整为 8。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *03.pch。

这时, 各模块之间关系见图 4.4.04 减法合成弦乐音色步骤 3:

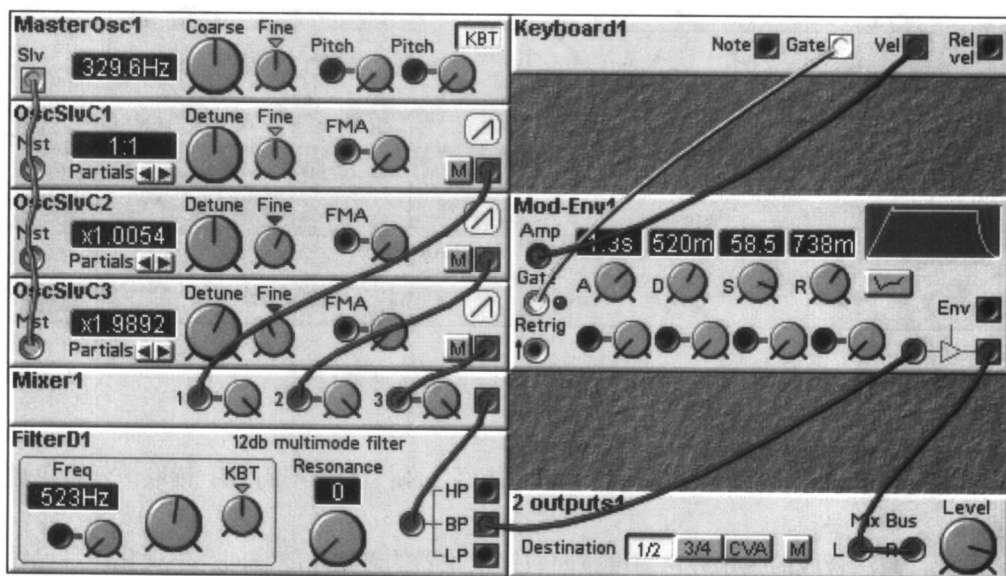


图 4.4.04 减法合成弦乐音色步骤 3

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: String03.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

根据算法分析, 我们还需要让演奏力度调制包络发生器的触发时间, 以模拟不同演奏技法时的弦乐音色力度响应。

步骤 4:

目前, 系统中已经有采集演奏力度信息的模块, 我们不需要再调用其它模块, 只需对包络发生器施加演奏力度调制即可:

操作 A: 执行 GP05 将包络发生器 *Mod-Env1* 的触发时间调制参量设定为 -50。

原则上现在只需将键盘输入模块的力度输出与包络发生器触发时间调制端口相连, 即可获得演奏力度对包络发生器触发时间的影响。这里, 为了避免连线过于杂乱, 我们采用了从包络发生器已经获得的力度信号串联的方式:

操作 B: 执行 GP03 连线, 启始端口: 包络发生器 *Mod-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*;
目标端口: 包络发生器 *Mod-Env1* 触发时间调制蓝色圆形控制输入。

执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：*04.pch。

这时，各模块之间关系见图 4.4.05 减法合成弦乐音色步骤 4：

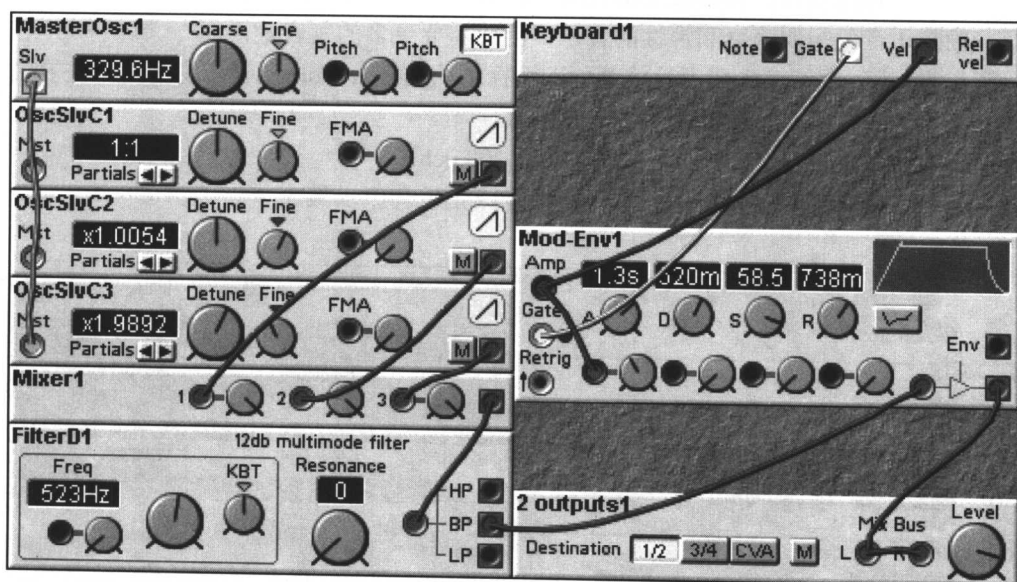


图 4.4.05 减法合成弦乐音色步骤 4

读者也可以通过执行 GP13，文件名：String04.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

至此，减法合成的弦乐音色力度按照包络发生器的规定，随时间产生变化，且已经可以通过演奏力度控制其整体力度响应。同时，不同的演奏力度可以模拟不同的演奏技法带来的力度响应。按照算法，如果想获得音色明暗度随演奏力度的变化，必须完成减法合成弦乐音色声谱内容的动态变化，就本例而言，具体内容是声谱内容随演奏力度的变化。

2. 获得声谱内容随演奏力度的变化

步骤 5：

设法让滤波器截止频率受演奏力度的影响，首先设置滤波器截止频率的调制量：

操作 A：执行 GP05 将滤波器 *FilterD1* 的截止频率调制量设定为 20。

通过演奏力度信息对滤波器截止频率进行调制。默认情况下我们连接键盘输入模块与滤波器，这里为了避免连线过于杂乱，我们仍旧采用从包络发生器串联的方式：

操作 B：执行 GP03 连线，起始端口：包络发生器 *Mod-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*；
目标端口：滤波器 *FilterD1* 截止频率调制蓝色圆形控制输入。

执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：*05.pch。

这时，各模块之间关系见图 4.4.06 减法合成弦乐音色步骤 5：

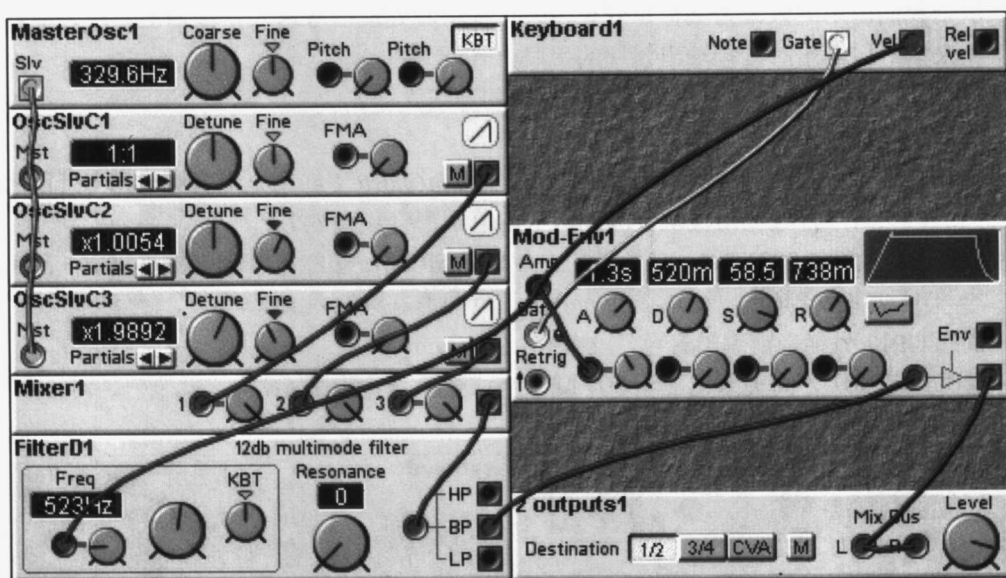


图 4.4.06 减法合成弦乐音色步骤 5

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: String05.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

这时, 减法合成的弦乐音色已经具备算法要求的弦乐音色特质, 为了进一步加强该音色的群感, 我们通过后音色修饰, 完成减法合成弦乐音色的全部合成与制作。

四、后音色修饰

后音色修饰包括演奏控制及声音效果两方面内容。就本例而言, 主要涉及对音色进行声音效果处理。

步骤 6:

调用效果器模块:

操作 A: 执行 GP01 调用立体声合唱效果器模块 *StChorus*。

设置效果器模块参数:

操作 B: 执行 2 次 GP05, 将效果器模块 *StChorus1* 的音高偏差参数 *Detune* 和效果声大小参数 *Amount* 分别设定为 78 和 100。

在通过效果器对整个音色进行效果处理之前, 需要将原来包络发生器与音频输出模块的连接断开:

操作 C: 执行 GP04 去掉步骤 3 操作 G 中的连线。

连接包络发生器与效果器模块:

操作 D: 执行 GP03 连线, 起始端口: 包络发生器 *Mod-Env1* 红色方形音频输出; 目标端口: 效果器 *StChorus1* 红色圆形音频输入。

由于我们调用的效果为立体声效果，因此在将其处理信号送入音频输出模块之前，需要将原来单声道输出时音频输出模块的串联方式断开：

操作 E：执行 GP04 去掉步骤 1 操作 I 中的连线。

将效果器信号输出：

操作 F：执行 GP03 连线，起始端口：效果器 *StChorus1* 红色方形音频输出 L；目标端口：音频输出模块 2 *outputs 1* 红色圆形音频输入 L。

操作 G：执行 GP03 连线，起始端口：效果器 *StChorus1* 红色方形音频输出 R；目标端口：音频输出模块 2 *outputs 1* 红色圆形音频输入 R。

执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：*06.pch。

这时，各模块之间关系见图 4.4.07 减法合成弦乐音色步骤 6：

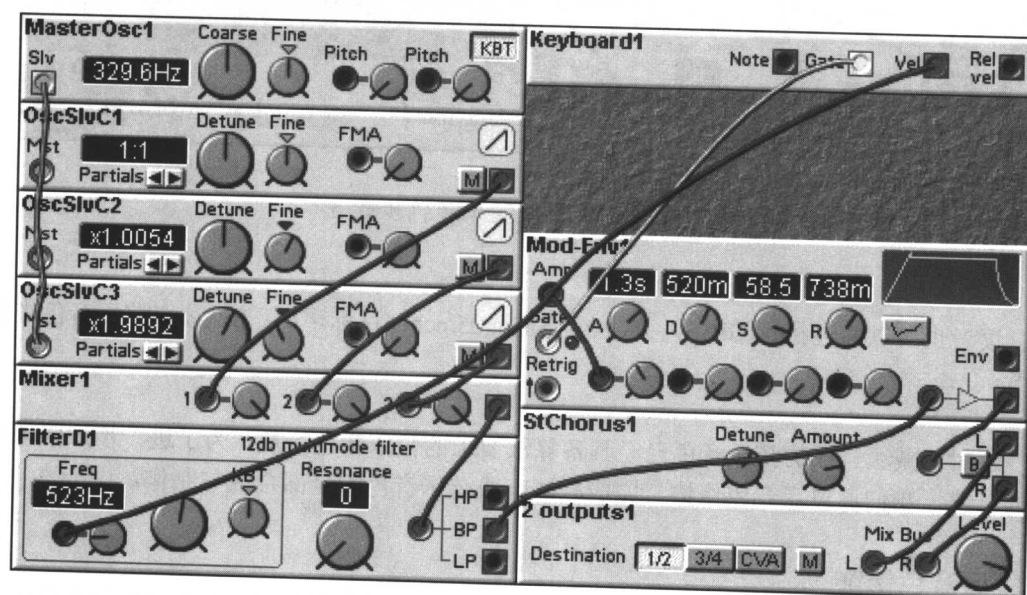


图 4.4.07 减法合成弦乐音色步骤 6

读者也可以通过执行 GP13，文件名：String06.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

至此，我们完成了通过 Nord Modular，采用减法合成原理合成弦乐音色的工作。

五、音色讨论建议

针对减法合成的弦乐音色特点，我们对大家在音色制作完成之后，通过实践对该音色进行讨论分析的内容有如下建议：

1. 理解动态声谱内容对音色的影响

本例中动态声谱内容的具体含义是：声谱内容随演奏力度的变化。建议操作如下：

操作 A: 执行 GP15 关闭所有音色窗口。

操作 B: 执行 GP13 读取演示音色, 文件名: String04.pch; 目标声部: A。

操作 C: 执行 GP13 读取演示音色, 文件名: String05.pch; 目标声部: B。

操作 D: 选择声部 A, 以不同力度演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图, 记住其音色感觉与声谱图形状。

操作 E: 选择声部 B, 以不同力度演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图, 与操作 D 进行比较。

声部 A 中的音色, 由于声谱内容不受演奏力度影响, 因此当以不同力度演奏弦乐音色时, 音质没有发生变化。声部 B 中的弦乐音色, 滤波器的截止频率受演奏力度的影响, 演奏力度越大, 截止频率越高; 演奏力度越小, 截止频率越低, 带给我们的音色感受是强力度演奏的弦乐音色, 比弱力度演奏时明亮得多。

2. 理解本例中包络发生器的时间调制

一般情况下, 在 Nord Modular 中, 模块中被调制参数的变化与调制参数成正比。比如上面分析中演奏力度对滤波器截止频率的调制, 力度越大则截止频率越高, 反之则越低——截止频率的高低与演奏力度的大小成正比。但在对于包络发生器的各阶段时间来说, 其与调制量成反比变化, 建议操作如下:

操作 A: 选择声部 B, 执行 GP05 将包络发生器 *Mod-Env1* 的触发时间调制量设定为-15。

操作 B: 选择声部 B, 以不同力度演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图。

通过操作 A, 我们将原来包络发生器触发时间调制量的值-50 增大, 变为-15。如果触发时间与调制量成正比的话, 随着演奏力度的增大, 触发时间应该增加。可通过操作 B 我们发现, 事实正好相反, 随着演奏力度的增大, 触发时间反而缩短了。因此在 Nord Modular 中, 通过其它信号调制包络发生器各阶段的时间变量时, 设置的默认时间变量大小应该是系统所需的最大值, 而不是最小值。

练习题:

试通过为每个分音振荡器施加不同速率自然颤音的方法, 获得更自然的弦乐群音色。

第5讲 减法合成风琴音色

本讲中，我们将通过减法合成的方法，合成一个风琴音色。

一、音色分析

本部分内容包括以下几个部分：首先对该音色进行特征描述、然后根据绘制的算法框图进行算法分析。

1. 音色特征描述

风琴音色给人的听觉感受与某些简单波形如三角波、方波等有些相像。这说明风琴音色的声谱虽然分音成份很多，但之间的关系比较简单，甚至存在像简单波形那样的数理关系；风琴音色的力度随时间的变化不大，带给我们平直的音色质感；大部分的风琴音色都带有自然颤音效果；此外，在演奏某些风琴时，音头会带有轻微的噪声。

2. 绘制算法框图

根据上面的音色特征，我们绘制出采用减法合成方法合成风琴音色的算法框图，见图4.5.01 减法合成风琴音色流程图：

3. 算法分析

按照图4.5.01中信号流程，我们对减法合成风琴音色的操作步骤流程分析如下：

- 本例中采用可调整声谱包络的振荡器作为减法合成风琴音色基频的发声振荡器，采用方波振荡器作为风琴音色中典型高频分音的发声振荡器。由于典型高频分音频率与基频的频率比为 8:1，比较高，因此我们将基频振荡器的默认频率降低了八度，以方便键盘的演奏。
- 基频振荡器和分音振荡器分别由两个斜率为 6dB 的独立滤波器进行声谱修饰，两个低通滤波器的截止频率分别为 904Hz 和 124Hz。
- A、D、S、R 各段取值分别为 5.7m、143m、42、5.7m 的标准包络发生器，控制音色力度随时间的变化模式，模拟典型平直的风琴力度响应。音色力度受演奏力度影响，随演奏力度的不同成比例地变化。
- 振荡器音高受包络发生器调制量为 127，表明振荡器的音高将随包络发生器的参数发生巨大变化。简单包络发生器使振荡器的音高以 0.5m 的时间，瞬间达到最高值，然后以 4.9m 的时间，又瞬间减低到最低值，模拟风琴演奏中音头的噪声。
- 振荡器音高受低频振荡器的调制量为 30，决定颤音幅度；低频振荡器使风琴音色产生速率为 6.46Hz 的自然颤音。

下面让我们根据音色分析的结果，通过 Nord Modular，按步骤完成减法合成风琴音色的合成与制作工作。

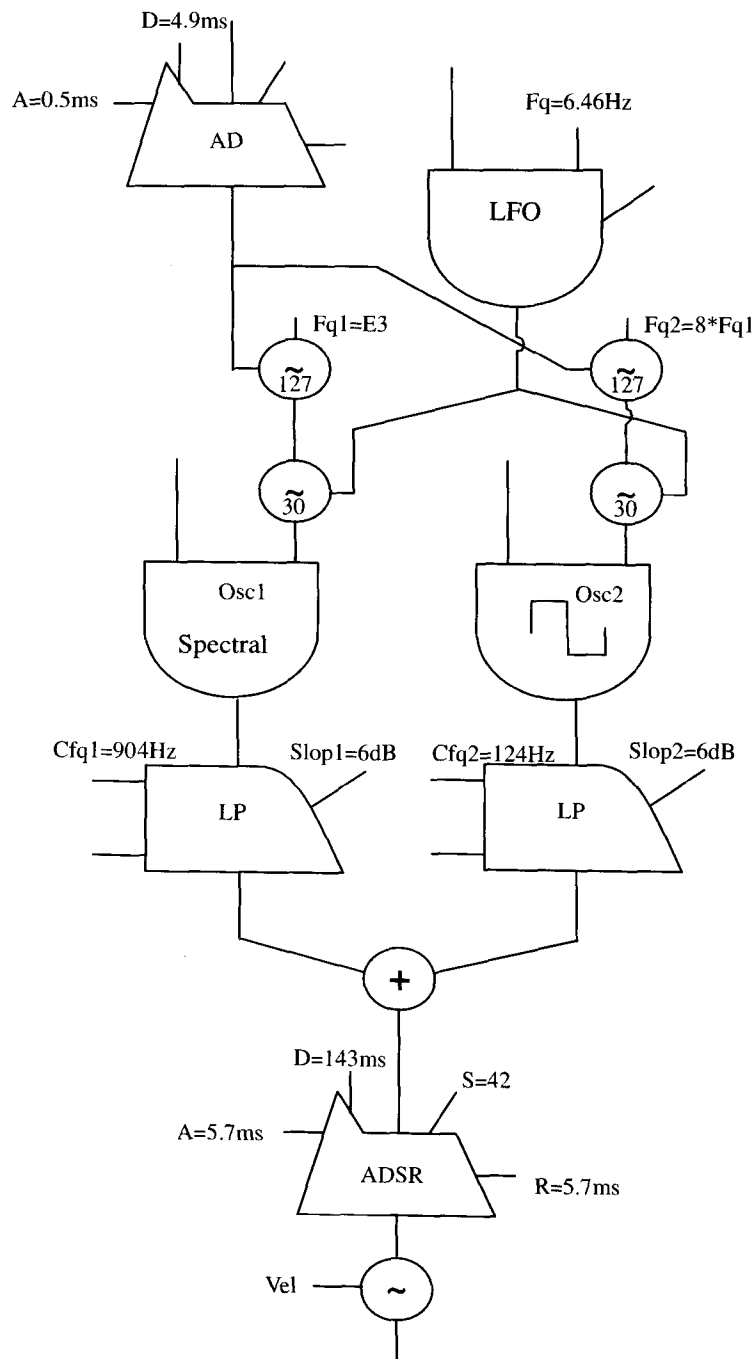


图 4.5.01 减法合成风琴音色流程图

二、获得静态声谱

获得静态声谱主要包括获得声源及对声谱进行修饰。

1. 获得声源

执行 GP11^①做好系统准备；执行 GP15 关闭目前所有音色窗口；执行 GP12 新建一音色，目标声部：A。

步骤 1：

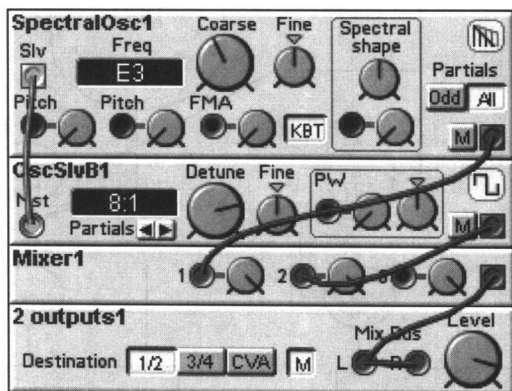


图 4.5.02 减法合成风琴音色步骤 1

调用可改变声谱包络的主振荡器——声谱振荡器作为基频振荡器：

操作 A：执行 GP01 调用声谱振荡器 *SpectralOsc*^②。

调整基频振荡器的默认频率：

操作 B：执行 GP05 将声谱振荡器 *SpectralOsc1* 的默认频率设定为 E3 即 164.8Hz。

调用产生方波的振荡器作为分音振荡器，为节省资源，调用专门产生方波的属振荡器：

操作 C：执行 GP01 调用属振荡器 *OscSlvB*。

激活主振荡器对属振荡器的控制：

操作 D：执行 GP03 连线，起始端口：振荡器 *SpectralOsc1* 灰色方形 *Slv* 输出；目标端口：振荡器 *OscSlvB1* 灰色圆形 *Mst* 输入。

调用混合器模块将振荡器信号相加：

操作 E：执行 GP01 调用混合器 *3 inputs mixer*。

操作 F^③：执行 GP03 连线，起始端口分别为：振荡器 *SpectralOsc1* 红色方形音频输出；目标端口：混合器 *Mixer1* 红色圆形音频输入 1。

操作 G：执行 GP03 连线，起始端口分别为：振荡器 *OscSlvB1* 红色方形音频输出；目标端口：混合器 *Mixer1* 红色圆形音频输入 2。

调用音频输出模块，输出振荡器信号：

操作 H：执行 GP01 调用音频输出模块 *2 outputs*。

操作 I：执行 GP03 连线，起始端口：混合器 *Mixer1* 红色方形音频输出；目标端口：音频输出模块 *2 outputs1* 红色圆形音频输入 L。

① 有关编号为 GP# 的全局操作的具体步骤请参阅本书附录三。

② 使用斜体字表示的内容为 Nord Modular 中的模块名称或参数名称。

③ 为方便查找，我们将在未来步骤中有可能被重新执行的步骤编码上增加了方框标记。

操作 J: 执行 GP03 连线, 起始端口: 音频输出模块 2 *outputs 1* 红色圆形音频输入 L;

目标端口: 音频输出模块 2 *outputs 1* 红色圆形音频输入 R。

这时我们已经能够听到声音了, 通过音频输出模块 2 *outputs 1* 上的哑音开关(默认状态为解除状态)可以控制声音的送出与否。

执行 GP16 保存当前编辑音色, 文件名: *01.pch。

这时, 各模块之间关系见图 4.5.02 减法合成风琴音色步骤 1:

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: Organ_sub01.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

现在听到的音色由于高频分音占过多的声学能量, 不仅音色离风琴音色有些距离, 甚至有写刺耳, 必须通过声谱修饰达到所需的目的声谱。

2. 修饰声谱

步骤 2:

为修饰基频振荡器, 调用滤波器, 根据算法分析, 调用简单低通滤波器:

操作 A: 执行 GP01 调用滤波器 *FilterA*, 自动名称为 *FilterA1*。

滤波器 *FilterA* 的默认斜率就是 6dB, 因此我们只需设定该滤波器的截止频率:

操作 B: 执行 GP05 将包滤波器 *FilterA1* 的截止频率设定为 904Hz。

在通过滤波器对基频振荡器进行修饰之前, 需要将原来振荡器与混合器的连接断开:

操作 C: 执行 GP04 去掉步骤 1 操作 F 中的连线。

通过滤波器输出振荡器信号:

操作 D: 执行 GP03 连线, 起始端口分别为: 振荡器 *SpectralOsc1* 红色方形音频输出;

目标端口: 滤波器 *FilterA1* 红色圆形音频输入。

操作 E: 执行 GP03 连线, 起始端口分别为: 滤波器 *FilterA1* 红色方形音频输出; 目

标端口: 混合器 *Mixer1* 红色圆形音频输入 1。

为修饰分音振荡器, 调用滤波器, 根据算法分析, 调用简单低通滤波器:

操作 F: 执行 GP01 调用滤波器 *FilterA*, 自动名称为 *FilterA2*。

滤波器 *FilterA* 的默认斜率就是 6dB, 因此我们只需设定该滤波器的截止频率:

操作 G: 执行 GP05 将包滤波器 *FilterA2* 的截止频率设定为 124Hz。

在通过滤波器对基频振荡器进行修饰之前, 需要将原来振荡器与混合器的连接断开:

操作 H: 执行 GP04 去掉步骤 1 操作 G 中的连线。

通过滤波器输出振荡器信号:

操作 I: 执行 GP03 连线, 起始端口分别为: 振荡器 *OscSlvB1* 红色方形音频输出; 目

标端口: 滤波器 *FilterA2* 红色圆形音频输入。

操作 J: 执行 GP03 连线, 起始端口分别为: 滤波器 *FilterA2* 红色方形音频输出; 目标

端口: 混合器 *Mixer1* 红色圆形音频输入 2。

通过音频输出模块 2 *outputs 1* 上的哑音开关(默认状态为解除状态)可以控制声音的送出与否。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *02.pch。

这时，各模块之间关系见图 4.5.03 减法合成风琴音色步骤 2:

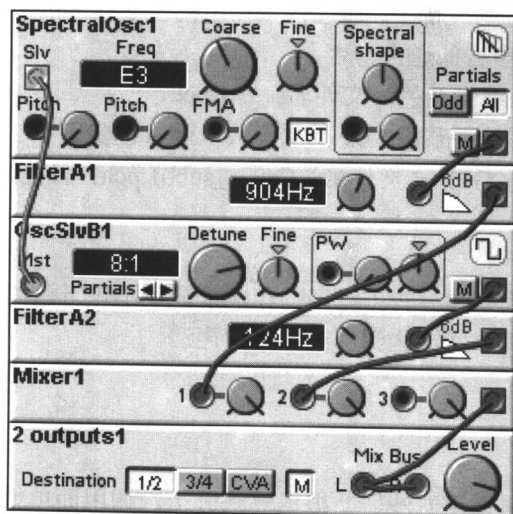


图 4.5.03 减法合成风琴音色步骤 2

读者也可以通过执行 GP13，文件名：Organ_sub02.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

至此，我们获得了减法合成风琴音色的静态声谱。虽然声音已经基本具有风琴音色的特征，但是要实现前文音色分析中要求的音色目的，还需要获得动态的声谱响应。

三、获得动态声谱

就本例而言，获得动态声谱的任务包括获得动态的音色力度随时间、演奏力度的变化以及声谱内容随时间的变化。

1. 获得音色力度随时间及演奏力度的变化

步骤 3:

获得音色力度随时间的变化主要依靠包络发生器，本例中选择标准的 ADSR 包络发生器：

操作 A：执行 GP01 调用包络发生器 *ADSR-Env*。

按照图 4.5.01 中规定设置包络发生器参数：

操作 B：执行 4 次 GP05，将包络发生器 *ADSR-Env1* 的参数 A 和、D、S、R 分别设定为 5.7 秒、143 毫秒、42、5.7 毫秒。

通过键盘输入模块采集的音符开信息触发包络发生器：

操作 C：执行 GP01 调用键盘输入模块 *Keyboard*。

操作 D：执行 GP03 连线，起始端口：键盘输入模块 *Keyboard1* 黄色方形逻辑输出 *Gate*；目标端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

在通过包络发生器影响音色力度响应之前,需要将原来混合器与音频输出模块的连接断开:

操作 E: 执行 GP04 去掉步骤 1 操作 I 中的连线。

通过包络发生器获得音色力度随时间的变化:

操作 F: 执行 GP03 连线, 起始端口: 混合器 *Mixer1* 红色方形音频输出; 目标端口: 包络发生器 *ADSR-Env1* 红色圆形音频输入。

操作 G: 执行 GP03 连线, 起始端口: 包络发生器 *ADSR-Env1* 红色方形音频输出; 目标端口: 音频输出模块 *2 outputs 1* 红色圆形音频输入 L。

获得音色力度随演奏力度的变化:

操作 H: 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Vel*; 目标端口: 包络发生器 *ADSR-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

一般风琴音色需要演奏和声性的音乐, 因此需要更多的发音数:

操作 I: 找到软件编辑器下拉式菜单下面标示的发音数(Voices)显示窗旁边带左右箭头的按钮, 将所需发音数调整为 8。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *03.pch。

这时, 各模块之间关系见图 4.5.04 减法合成风琴音色步骤 3:

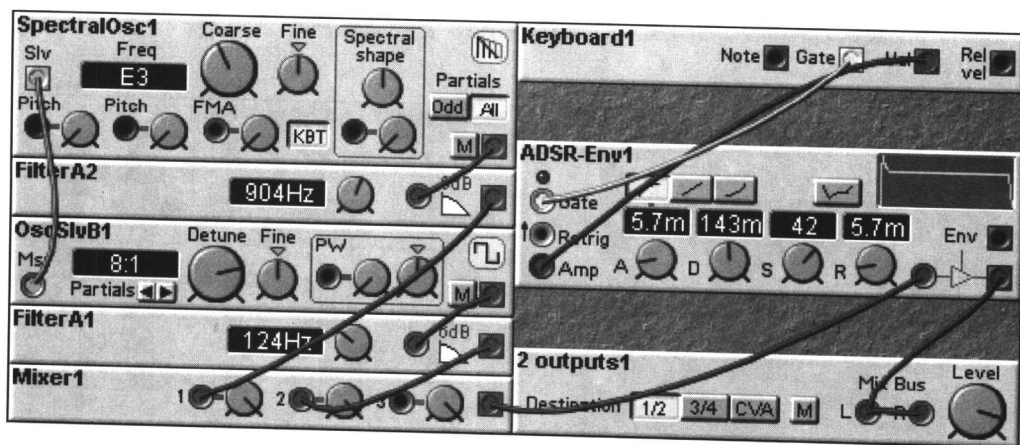


图 4.5.04 减法合成风琴音色步骤 3

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: Organ_sub03.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

为模拟演奏风琴时音头的噪声, 我们需要获得减法合成风琴音色动态声谱的变化。

2. 获得声谱内容随时间的变化

声谱内容随时间的变化包括分音频率、分音振幅随时间的变化。本例中获得动态声谱内容的目的是为了模拟风琴演奏音头的噪声, 因此需要随时间改变分音频率。

步骤 4:

根据算法分析,调用简单包络发生器:

操作 A: 执行 GP01 调用包络发生器 *AD-Env*。

设置包络发生器参数:

操作 B: 执行 GP05 将包络发生器 *AD-Env1* 的触发时间参数 *A* 和衰减时间 *D* 分别设定为 0.5 毫秒和 4.9 毫秒。

由于包络发生器的调制对象是振荡器的音高,因此需要设置振荡器的音高调制量。根据算法需要分别设置基频振荡器与分音振荡器的音高调制量,但本例中采用了主振荡器对属振荡器的控制,因此只需要设置基频振荡器的音高调制量即可:

操作 C: 执行 GP05 将振荡器 *SpectralOsc1* 的音高调制量设定为最大(127)。

为包络发生器施加逻辑触发信号:

操作 D: 执行 GP03 连线,起始端口:键盘输入模块 *Keyboard1* 黄色方形逻辑输出 *Gate*;目标端口:包络发生器 *AD-Env1* 黄色圆形逻辑输入。

获得分音频率随时间的变化:

操作 E: 执行 GP03 连线,起始端口:包络发生器 *AD-Env1* 蓝色方形控制输出;目标端口:振荡器 *SpectralOsc1* 蓝色圆形控制输入 *Pitch*(右)。

执行 GP17 另存当前编辑音色,文件名: *04.pch。

这时,各模块之间关系见图 4.5.05 减法合成风琴音色步骤 4:

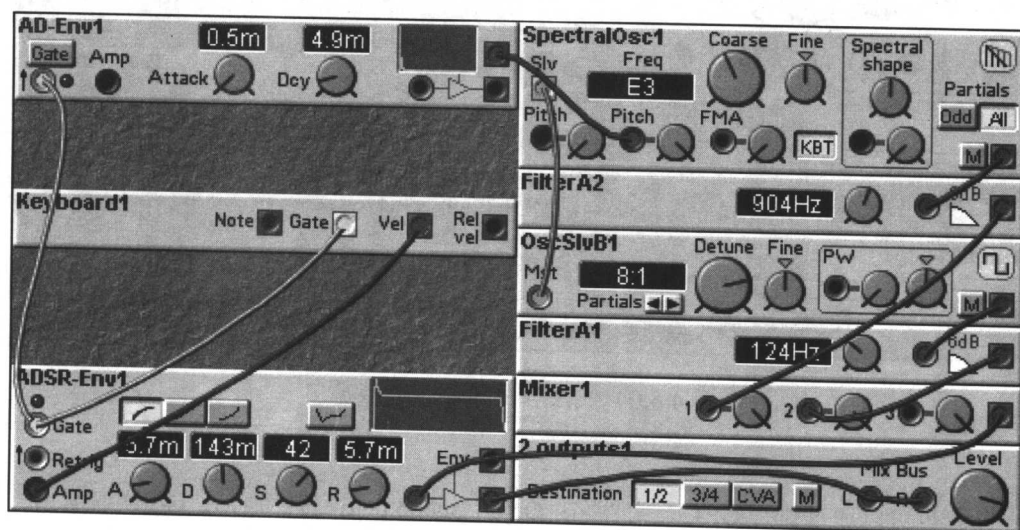


图 4.5.05 减法合成风琴音色步骤 4

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: *Organ_sub04.pch*; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

至此,通过静态声谱修饰以及获得动态的声谱变化,我们已经基本获得减法合成风琴音色的基本音质。下面对减法合成风琴音色进行后音色修饰。

四、后音色修饰

后音色修饰包括演奏控制及声音效果。就本例而言，我们的主要目的是为减法合成的风琴音色添加可实时控制的颤音演奏控制。

步骤 5:

颤音属于音色的装饰性周期音高变化，实现该功能的主要工具是低频振荡器：

操作 A: 执行 GP01 调用低频振荡器 *LFOC*。

设置低频振荡器的频率，确定基本颤音速率。

操作 B: 执行 GP05 将低频振荡器 *LFOC1* 的速率参数 *Rate* 设定 6.46Hz。

设定各振荡器音高调制量，本例我们使用了主振荡器对属振荡器的控制，因此只需调整主振荡器的音高调制量即可：

操作 C: 执行 GP05 将主振荡器 *SpectralOsc1* 的音高调制量(左)设定 30。

连接低频振荡器与主振荡器，获得自然颤音效果：

操作 D: 执行 GP03 连线，起始端口：低频振荡器 *LFOC1* 蓝色方形控制输出；目标端口：主振荡器 *SpectralOsc1* 蓝色圆形控制输入(左)。

现在演奏该音色，可以听到按照固定颤音深度发声的颤音效果。接下来我们需要获得实时的颤音深度控制。

由于 Nord Modular 中的低频振荡器没有振幅调制参量，因此我们需要控制信号混合器的帮助。

操作 E: 执行 GP01 调用控制混合器 *ControlMixer*。

设定控制混合器输出大小，本例我们选择使用该混合器的第 2 路：

操作 F: 执行 GP05 将控制混合器 *ControlMixer1* 第 2 路输出量设定为 90。

通过控制混合器调控颤音深度之前，需要将原来低频振荡器与主振荡器音高调制的连接断开。

操作 G: 执行 GP04 去掉本步骤操作 D 中的连线。

通过控制混合器获得对颤音深度的控制：

操作 H: 执行 GP03 连线，起始端口：低频振荡器 *LFOC1* 蓝色方形控制输出；目标端口：控制混合器 *ControlMixer1* 第 2 路蓝色圆形控制输入。

操作 I: 执行 GP03 连线，起始端口：控制混合器 *ControlMixer1* 蓝色方形控制输出；目标端口：主振荡器 *MasterOsc1* 蓝色圆形控制输入(左) *Pitch*。

下面只要使控制混合器第 2 路输出的旋钮受 MIDI 调制信息的控制，即可获得实时的颤音深度控制：

操作 J: 执行 GP07，将控制混合器 *ControlMixer1* 第 2 路输出的外部控制源设置为 MIDI 调制信息(第 1 号控制变换信息)。

执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：*05.pch。

这时，各模块之间关系见图 4.5.06 减法合成风琴音色步骤 5^①：

① 在 Nord Modular 的编辑软件中按 F9 才能看到图中显示的外部控制源信息号。

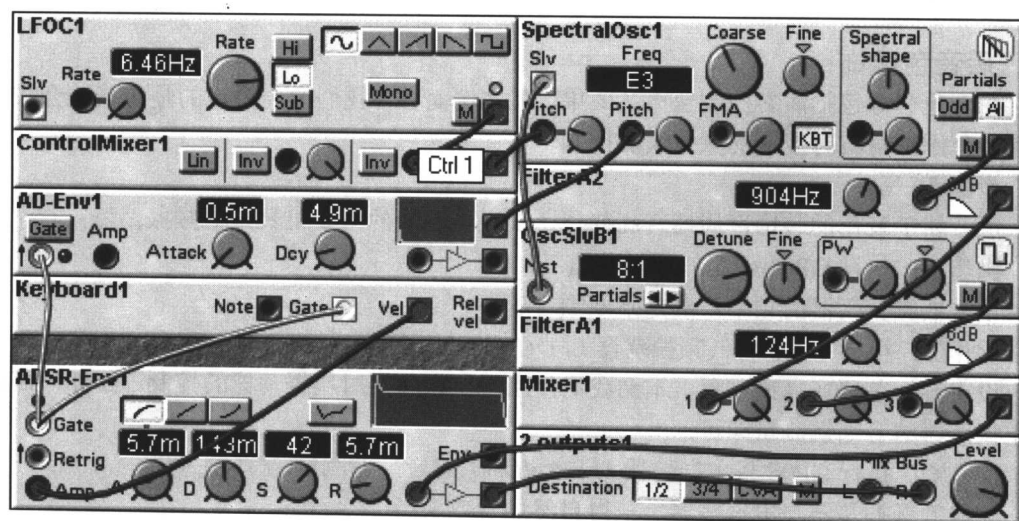


图 4.5.06 减法合成风琴音色步骤 5

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: Organ_sub05.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

至此, 我们完成了通过 Nord Modular, 采用减法合成原理合成风琴音色的工作。

五、音色讨论建议

针对减法合成的风琴音色特点, 我们对大家在音色制作完成之后, 通过实践对该音色进行讨论分析的内容有如下建议:

1. 理解动态声谱内容对音色的影响

动态声谱内容变化由于自变量的不同, 变化幅度的不同等因素, 带给音色的影响是多种多样的。本例中的动态声谱内容, 具体说是分音频率随时间的变化, 带给音色的影响是比较特殊的一种, 建议操作如下:

操作 A: 执行 GP15 关闭所有音色窗口。

操作 B: 执行 GP13 读取演示音色, 文件名: Organ_sub04.pch; 目标声部: A。

操作 C: 选择声部 A, 执行 GP05 将包络发生器 AD-Env1 的触发时间参数 A 和衰减时间参数 D 分别设定为 20 毫秒和 201 毫秒。

操作 D: 选择声部 A, 以不同力度演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图, 记住其音色感觉与声谱图形状。

经过操作 C, 我们将包络发生器的触发和衰减时间加长, 通过操作 D 就可以清晰地听到分音频率随时间的变化过程。操作 C 中的参数设置虽然是常规的参数设置, 但对音色的影响, 在本例中并不是我们需要的。本例中是通过比较特殊的参数设置, 达到减法合成风琴音色所需的的目的, 建议操作如下:

操作 E: 执行 GP13 读取演示音色, 文件名: Organ_sub 04.pch; 目标声部: B。

操作 F: 选择声部 B, 以不同力度演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图, 与操作 D 进行比较。

声部 B 中的音色, 由于通过触发和衰减时间都非常短的包络发生器, 以最大幅度调制振荡器的音高变化。极快的音高变化, 对于我们的听觉反映来说, 已经感受不到具体的音高, 只能感觉到这个变化过程, 而且听起来更像一个噪音。本例正是利用这种特殊参数设置带来的动态声谱变化, 模拟风琴音色音头的噪声感觉的。

2. 理解本例中声谱振荡器的波形

Nord Modular 中的声谱振荡器是复杂波形振荡器的一种。它可以按照不同的意图, 在一定范围内改变振荡器产生波形的声谱包络, 以达到控制结果波形的目的。建议操作如下:

操作 A: 执行 GP13 读取演示音色, 文件名: Organ_sub.pch; 目标声部: C。

操作 B: 执行 GP07, 将振荡器 *SpectralOsc1* 声谱形状旋钮 *Spectral Shape* 的外部控制源设置为 Nord Modular 面板控制旋钮 1。

操作 C: 选择声部 C, 边旋转 Nord Modular 面板控制旋钮 1, 边以不同力度演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图。

当我们将旋钮转到最左边时, 通过操作 C 可以听到声部 C 中的音色要单薄一些, 像是由一个正弦波和一个方波合成的音色质感; 当我们将旋钮转到最右边时, 通过操作 C 听到声部 C 中的音色发生了很大变化, 甚至不是风琴音色了。造成这样现象的原因是, 当旋钮在最左边, 意味着振荡器 *SpectralOsc1* 产生波形的声谱中除基频外, 其它分音的能量非常小, 因此音色趋近于正弦波的音色感觉; 当旋钮在最右边, 意味着振荡器 *SpectralOsc1* 产生波形的声谱中除基频外, 其它高频分音的能量也很大, 因此音色听起来更想锯齿波音色的感觉。而包含丰富高频能量的锯齿波与方波合起来, 不是风琴音色固有的声谱特征, 因此这时的音色听起来已经不像风琴音色了。不过, 即使选择了含丰富分音能量的波形, 也可以通过改变混合器输出大小等方法, 获得正确地风琴音色感觉。有兴趣的读者可以再为混合器的输出旋钮设置外部控制源, 然后调节它们的比例关系, 就可以获得动态音质的风琴音色。

练习题:

试按照本讲音色讨论建议中的思路, 制作具有动态音质变化的风琴音色。

第6讲 减法合成铜管音色

本讲中，我们将通过减法合成的方法，合成一个铜管音色。

一、音色分析

本部分内容包括以下几个部分：首先对该音色进行特征描述、然后根据绘制的算法框图进行算法分析。

1. 音色特征描述

铜管音色是指交响乐队中多只小号、长号、圆号、大号等铜管乐器合奏的音色。像弦乐音色一样，由于每只乐器的音质、音高在演奏时有着细微的差异，因此铜管音色也具有频率差距非常小的非谐和声谱。铜管音色无论在低音区还是高音区，表现出来的音色质感都比较明亮，且铜管音色的音头要比其它阶段明亮得多。同时这种差异随着演奏音高和演奏力度的不同，分别成反比和正比变化。即音区越高，差异越小；力度越大则差异越大。另外，铜管音色中包含结构性音高变化的同时，一般还有装饰性周期音高变化——自然颤音现象。

2. 绘制算法框图

根据上面的音色特征，我们绘制出采用减法合成方法合成铜管音色的算法框图，见图4.6.01 减法合成铜管音色流程图：

3. 算法分析

按照图4.6.01中信号流程，我们对减法合成铜管音色的操作步骤流程分析如下：

- 采用频率差很近，包含丰富分音能量的两个锯齿波振荡器作为减法合成铜管音色的声源振荡器。
- 明亮的铜管音色意味着铜管音色声谱中高频分音占有较多的声学能量。最大截止频率为7.04KHz的低通滤波器确保结果声谱中包含足够能量的高频分音。
- 包络发生器ADSR1确保音色力度随时间的变化模式符合铜管的特点。其中，由于延留阶段为最大值，因此衰减时间可以忽略不计。通过包络发生器，振荡器信号振幅受演奏力度调制。
- 铜管音头音色要更明亮，表明音头时期铜管音色声谱中高频分音占有的声学能量比其它时期大许多。滤波器截止频率受包络发生器调制量为64，决定截止频率变化幅度；通过包络发生器ADSR2调制滤波器的截止频率，使其按照包络发生器的参数随时间从最小值440Hz至最大值7.04KHz之间变化。A2取值表示最多需要282毫秒，滤波器的截止频率从最小值将变为最大值；D2和S2意味着滤波器截止频率经过219毫秒减小到一定值(非最小)；R2规定了滤波器截止频率经过170毫秒衰减为最小值。

- 关闭默认的 KBT^①功能，意味着取消截止频率随演奏音高的变化，以满足铜管音色在所有音区都比较明亮的需求。

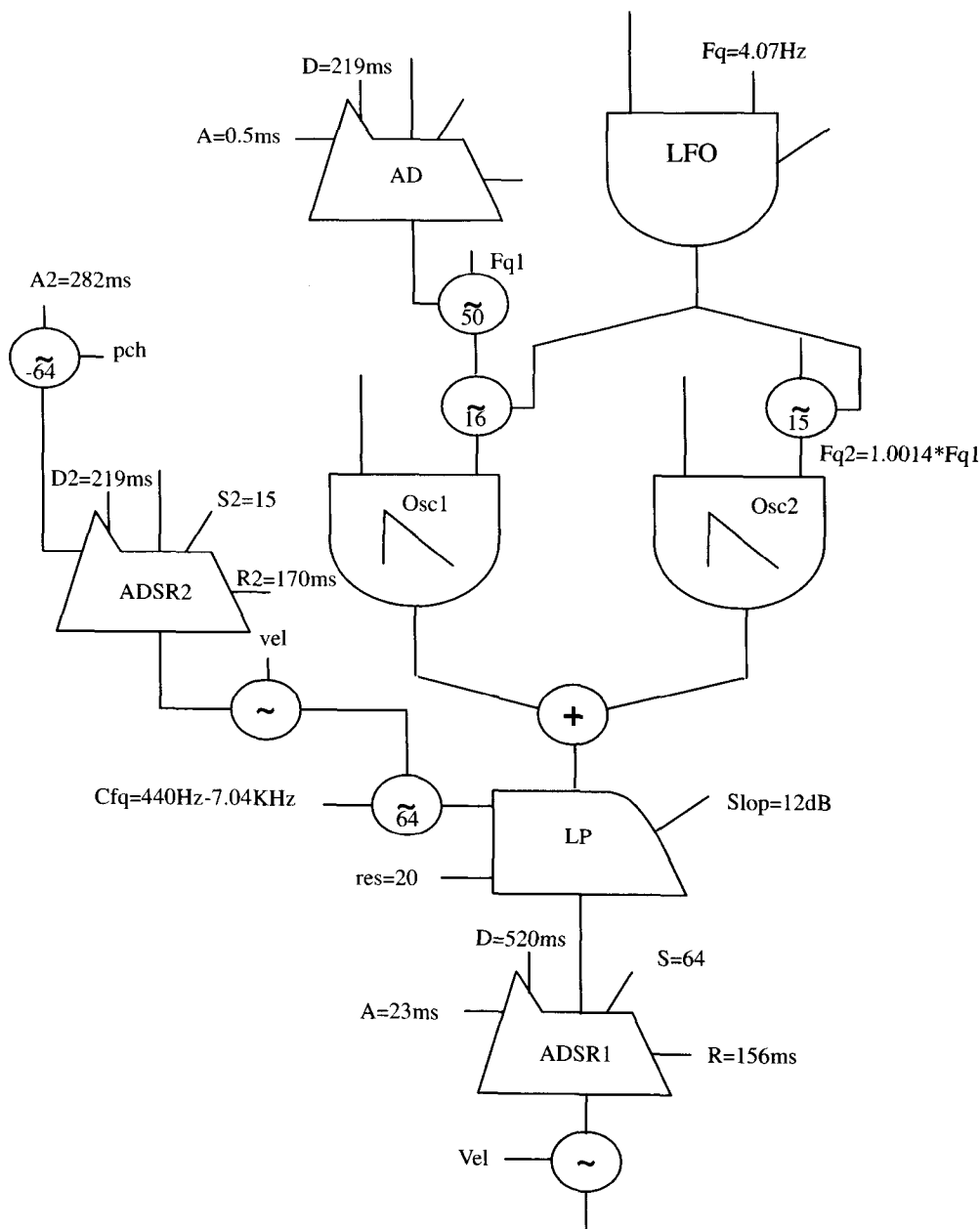


图 4.6.01 减法合成铜管音色流程图

- 受演奏力度调制的包络发生器 ADSR2 意味着滤波器截止频率还会随着演奏力度的变化成正比地变化。意味着音色明暗度将与演奏力度成正比变化。

① 有关 Nord Modular 中的 KBT 功能请参阅第三章第二讲的音色讨论建议。

- 包络发生器触发时间 A2 受演奏音高的调制量为-64，将随着演奏音高的升高，成反比变化。即演奏应高越高，A2 时间越短，反之则越长。由于包络发生器 ADSR2 本身是用于调制滤波器截止频率的，因此演奏音高越高，滤波器截止频率由低至高变化的速度就越慢，反映在音色中的效果是演奏音高越低，铜管音色音头由暗变亮的速度就越慢，反之则越快。
- 振荡器 Osc1 的频率受包络发生器 AD 的调制量为 50，将以 0.5 毫秒的速度从最小值变化为调制量规定的最大值；经过 219 毫秒衰减为最小值，使音色产生结构性音高变化。
- 振荡器 Osc1 和 Osc2 音高受低频振荡器的调制量分别为 16 和 15，将使音色按照低频振荡器规定的频率 4.07Hz，以略有不同的颤音幅度，产生自然颤音效果。

下面让我们根据音色分析的结果，通过 Nord Modular，按步骤完成减法合成铜管音色的合成与制作工作。

二、获得静态声谱

获得静态声谱主要包括获得声源及对声谱进行修饰。

1. 获得声源

执行 GP11^①做好系统准备；执行 GP15 关闭目前所有音色窗口；执行 GP12 新建一音色，目标声部：A。

步骤 1：

根据算法，本例中需要两个产生锯齿波的振荡器，其中一个必须具备双重音高调制能力。

操作 A：执行 GP01 调用主振荡器 *OscB*^②。

选择振荡器波形类型，以便使振荡器产生锯齿波：

操作 B：点击振荡器 *OscB1* 中标有锯齿波图形的按钮  (默认状态为关)，将其变为这个状态： (激活锯齿波)。

另一个振荡器我们采用较节省资源的主属振荡器的组合：

操作 C：执行 GP01 调用主振荡器 *MasterOsc*。

操作 D：执行 GP01 调用属振荡器 *OscSlvC*。

设定属振荡器与主振荡器的频率比：

操作 E：执行 GP05 将属振荡器 *OscSlvC1* 的频率与主振荡器频率的比值设定为 1.0014。

激活主振荡器对属振荡器的控制：

操作 F：执行 GP03 连线，启始端口：振荡器 *MasterOsc1* 灰色方形 *Slv* 输出；目标端口：振荡器 *OscSlvC1* 灰色圆形 *Mst* 输入。

调用混合器将振荡器信号相加：

操作 G：执行 GP01 调用混合器 *3 inputs mixer*。

操作 H：执行 GP03 连线，启始端口分别为：振荡器 *OscB1* 红色方形音频输出；目标

① 有关编号为 GP# 的全局操作的具体步骤请参阅本书附录三。

② 使用斜体字表示的内容为 Nord Modular 中的模块名称或参数名称。

端口：混合器 *Mixer1* 红色圆形音频输入 1。

操作 I： 执行 GP03 连线，起始端口分别为：振荡器 *OscSlvC1* 红色方形音频输出；目标端口：混合器 *Mixer1* 红色圆形音频输入 2。

调用音频输出模块，输出振荡器信号：

操作 J： 执行 GP01 调用音频输出模块 2 *outputs*。

操作 K^①： 执行 GP03 连线，起始端口：混合器 *Mixer1* 红色方形音频输出；目标端口：音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 L。

操作 L： 执行 GP03 连线，起始端口：音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 L；目标端口：音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 R。

这时我们已经能够听到声音了，通过音频输出模块 2 *outputs1* 上的哑音开关(默认状态为解除状态 )可以控制声音的送出与否。

执行 GP16 保存当前编辑音色，文件名：*01.pch。

这时，各模块之间关系见图 4.6.02 减法合成铜管音色步骤 1：

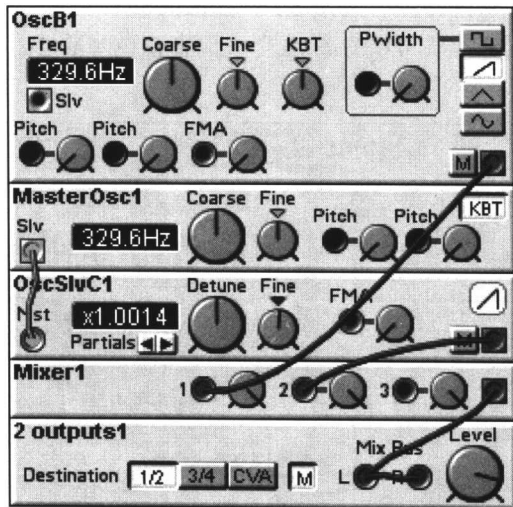


图 4.6.02 减法合成铜管音色步骤 1

读者也可以通过执行 GP13，文件名：Brass_sub01.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

2. 修饰声谱

步骤 2：

根据图 4.6.01 中规定，调用传统低通滤波器：

操作 A： 执行 GP01 调用传统低通滤波器 *FilterF*。

① 为方便查找，我们将在未来步骤中有可能被重新执行的步骤编码上增加了方框标记。

按图 4.6.01 中规定设定低通滤波器的共振及最大截止频率参数:

操作 B: 执行 GP05 将低通滤波器 *FilterF1* 的截止频率设定为 7.04KHz。

操作 C: 执行 GP05 将低通滤波器 *FilterF1* 的共振值设定为 20。

关闭滤波器的 KBT 功能:

操作 D: 执行 GP05 将低通滤波器 *FilterF1* 的 KBT 值设定为 Off。

在经滤波器将信号输出之前, 需要将原来混合器与音频输出模块的连接断开:

操作 E: 执行 GP04 去掉步骤 1 操作 K 中的连线。

将混合器输出信号送入滤波器, 再由滤波器输出:

操作 F: 执行 GP03 连线, 起始端口: 混合器 *Mixer1* 红色方形音频输出; 目标端口: 滤波器 *FilterF1* 红色圆形音频输入。

操作 G: 执行 GP03 连线, 起始端口: 滤波器 *FilterF1* 红色方形音频输出; 目标端口: 音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 L。

通过音频输出模块 2 *outputs1* 上的哑音开关(默认状态为解除状态 **M**)可以控制声音的送出与否。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *02.pch。

这时, 各模块之间关系见图 4.6.03 减法合成铜管音色步骤 2:

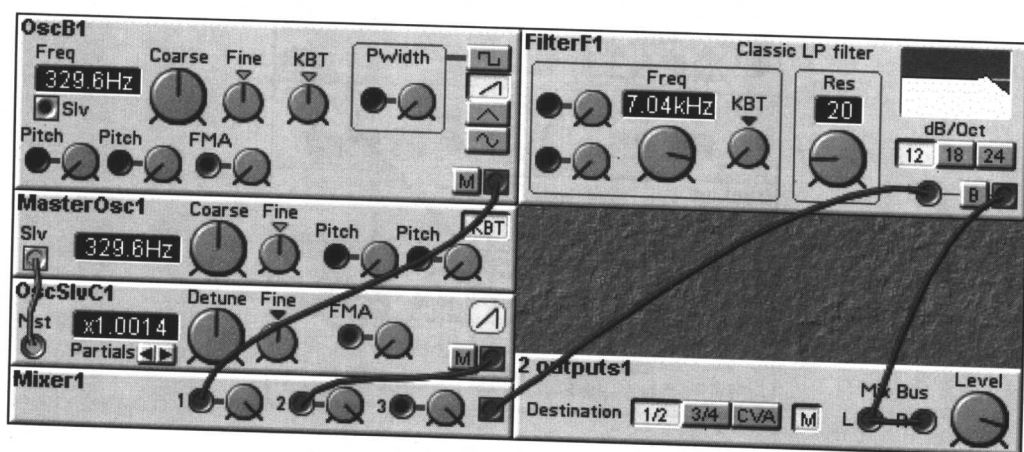


图 4.6.03 减法合成铜管音色步骤 2

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: Brass_sub02.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

至此, 我们获得了减法合成铜管音色的静态声谱。虽然声音已经基本具有铜管音色的特征, 但是要实现前文音色分析中要求的音色目的, 还需要获得动态的声谱响应。

三、获得动态声谱

就本例而言, 获得动态声谱的任务包括获得动态的音色力度随时间和演奏力度的变

化、声谱内容的变化以及音色的结构性音高变化。

1. 获得音色力度随时间及演奏力度的变化

步骤 3:

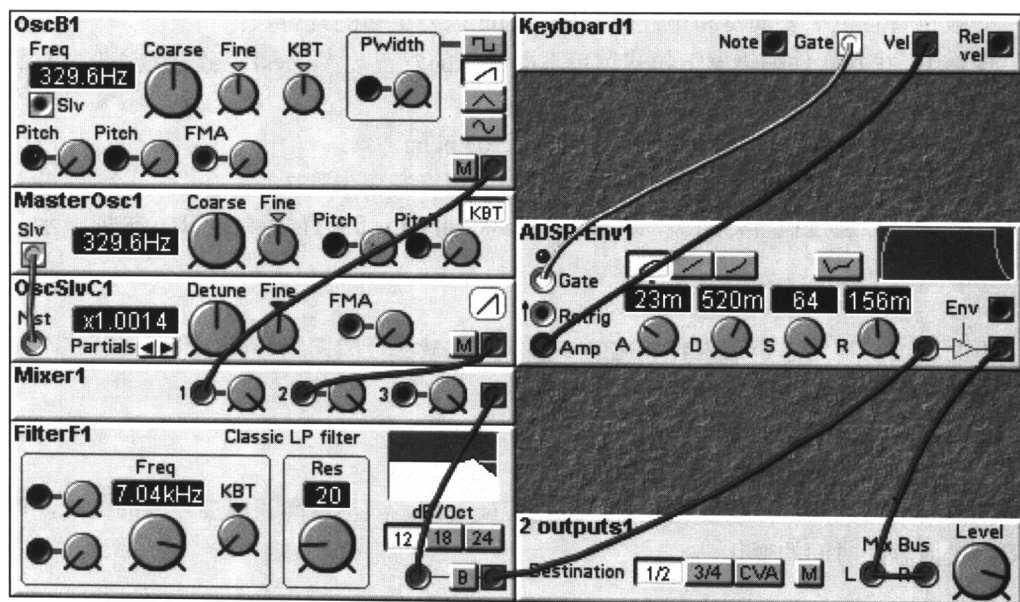


图 4.6.04 减法合成铜管音色步骤 3

获得音色力度随时间的变化主要依靠包络发生器，本例中选择标准的 ADSR 包络发生器：

操作 A：执行 GP01 调用包络发生器 *ADSR-Env*。

按照图 4.6.01 中规定设置包络发生器参数：

操作 B：执行 4 次 GP05，将包络发生器 *ADSR-Env1* 的参数 A 和、D、S、R 分别设定为 23 毫秒、520 毫秒、64、156 毫秒。

通过键盘输入模块采集的音符开信息触发包络发生器：

操作 C：执行 GP01 调用键盘输入模块 *Keyboard*。

操作 D：执行 GP03 连线，起始端口：键盘输入模块 *Keyboard1* 黄色方形逻辑输出 *Gate*；目标端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

在通过包络发生器影响音色力度响应之前，需要将原来滤波器与音频输出模块的连接断开：

操作 E：执行 GP04 去掉步骤 2 操作 G 中的连线。

通过包络发生器获得音色力度随时间的变化：

操作 F：执行 GP03 连线，起始端口：滤波器 *FilterF1* 红色方形音频输出；目标端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 红色圆形音频输入。

操作 G：执行 GP03 连线，起始端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 红色方形音频输出；目

标端口：音频输出模块 2 *outputs 1* 红色圆形音频输入 *L*。

获得音色力度随演奏力度的变化：

操作 H：执行 GP03 连线，起始端口：键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Vel*；

目标端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

一般铜管音色需要演奏和声性的音乐，因此需要更多的发音数：

操作 I：找到软件编辑器下拉式菜单下面标示的发音数(Voices)显示窗旁边带左右箭头的按钮，将所需发音数调整为 8。

执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：*03.pch。

这时，各模块之间关系见图 4.6.04 减法合成铜管音色步骤 3：

读者也可以通过执行 GP13，文件名：Brass_sub03.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

下面通过获得动态声谱内容变化的方法，实现减法合成铜管音色，音头与其它阶段音色的差异。

2. 获得动态的声谱内容变化

本例中动态的声谱内容变化包含声谱内容随时间、演奏音高和演奏力度的变化，首先获得声谱内容随时间的变化。

步骤 4：

根据算法分析，我们需要调用具备调制能力的包络发生器：

操作 A：执行 GP01 调用包络发生器 *Mod-Env*。

操作 B：执行 4 次 GP05，将包络发生器 *Mod-Env1* 的参数 *A* 和、*D*、*S*、*R* 分别设定为 283 毫秒、219 毫秒、15、170 毫秒。

设置低通滤波器截止频率调制量：

操作 C：执行 GP05，将低通滤波器 *FilterF1* 的截止频率调制量(上)设定为 64。

为包络发生器施加逻辑触发信号，本应该从键盘输入模块获取逻辑触发信号，这里采用从已加载逻辑触发信号的包络发生器 *ADSR-Env1* 处串联的方法：

操作 D：执行 GP03 连线，起始端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*；

目标端口：包络发生器 *Mod-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

获得声谱内容随时间的变化：

操作 E：执行 GP03 连线，起始端口：包络发生器 *Mod-Env1* 蓝色方形控制输出；目标端口：滤波器 *FilterF1* 蓝色圆形控制输入(上)。

这时需要重新调整滤波器的截止频率参数：

操作 F：执行 GP05，将低通滤波器 *FilterF1* 的截止频率调设定为 440Hz。

下面获得声谱内容随演奏音高的变化。设置包络发生器 *Mod-Env1* 触发时间的调制量：

操作 G：执行 GP05，将包络发生器 *Mod-Env1* 的触发时间调制量设定为-64。

获得声谱内容随演奏音高的变化：

操作 H：执行 GP03 连线，起始端口：键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色圆形控制输入 *Note*；

目标端口：包络发生器 *Mod-Env1* 触发时间蓝色圆形控制输入。

接下来完成声谱内容随演奏力度的变化。原则上需要从键盘输入模块连接包络发生器 *Mod-Env1*，为避免连线过于纷乱，这里仍然采用从其它模块串联的方法：

操作 I：执行 GP03 连线，起始端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*；

目标端口：包络发生器 *Mod-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：*04.pch。

这时，各模块之间关系见图 4.6.05 减法合成铜管音色步骤 4：

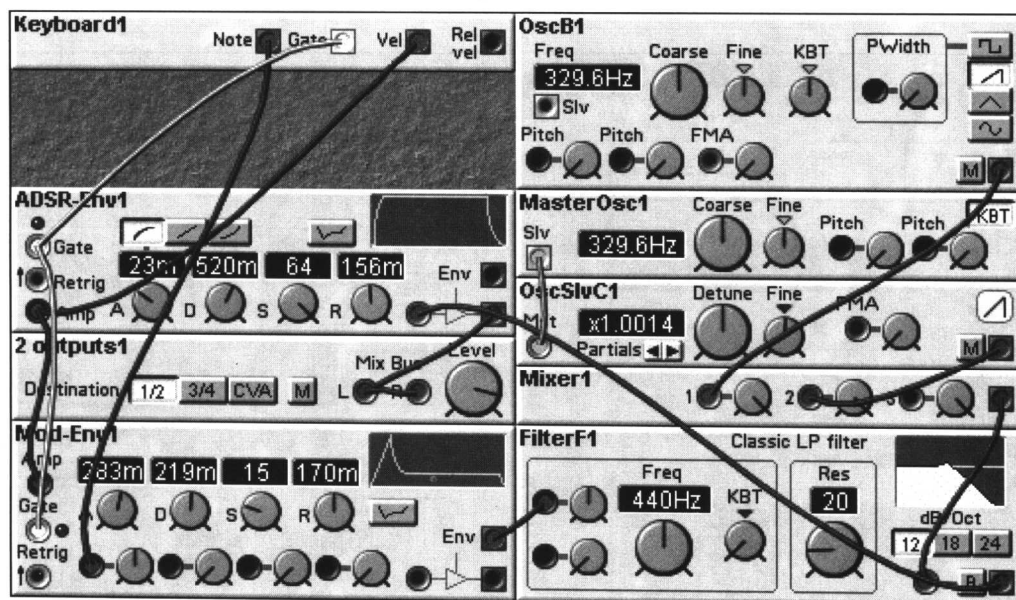


图 4.6.05 减法合成铜管音色步骤 4

读者也可以通过执行 GP13，文件名：Brass_sub04.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

3. 获得音色的结构性音高变化

步骤 5：

根据算法调用简单包络发生器：

操作 A：执行 GP01 调用包络发生器 *AD-Env*。

设置简单包络发生器参数：

操作 B：执行 2 次 GP05，将包络发生器 *AD-Env1* 的参数 *A* 和 *D* 分别设定为 0.5 毫秒和 219 毫秒。

设置振荡器 *OscB1* 的音高调制量，本例中选择右边的旋钮：

操作 C：执行 GP05，将振荡器 *OscB1* 的音高调制量(右)设定为 50。

为包络发生器施加逻辑触发信号，本应该从键盘输入模块获取逻辑触发信号，这里采用从已加载逻辑触发信号的包络发生器 *ADSR-Env1* 处串联的方法：

操作 D: 执行 GP03 连线, 启始端口: 包络发生器 *ADSR-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*;
目标端口: 包络发生器 *AD-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

获得音色的结构性音高变化:

操作 E: 执行 GP03 连线, 启始端口: 包络发生器 *AD-Env1* 蓝色方形控制输出; 目标端口: 振荡器 *OscB1* 蓝色圆形控制输入(右)。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *05.pch。

这时, 各模块之间关系见图 4.6.06 减法合成铜管音色步骤 5:

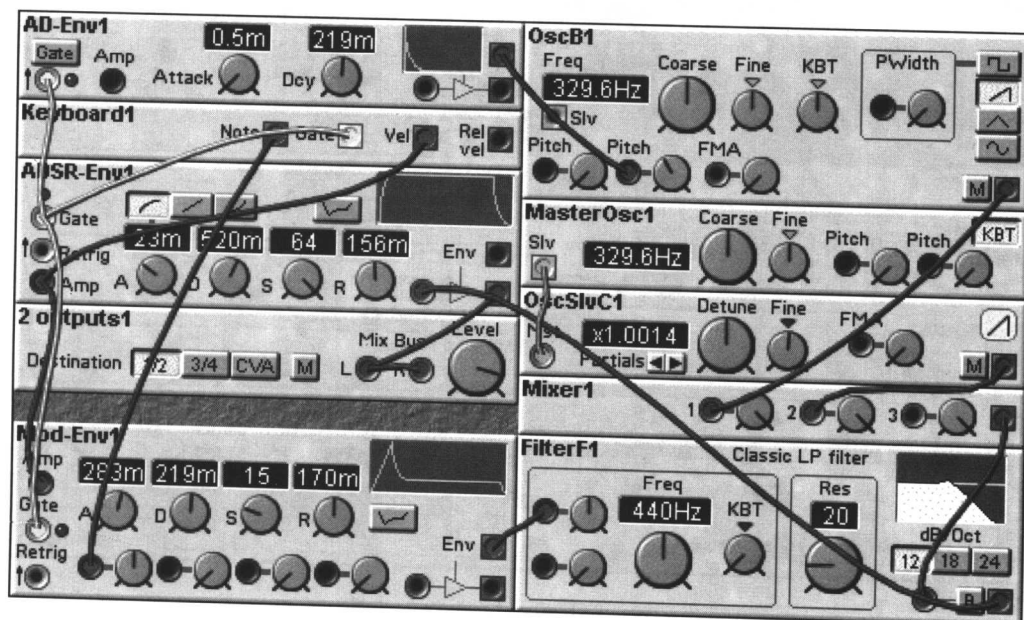


图 4.6.06 减法合成铜管音色步骤 5

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: Brass_sub05.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

至此, 我们基本上完成了减法合成铜管音色的工作, 根据算法分析, 下面通过后音色修饰给减法合成的铜管音色添加自然颤音。

四、后音色修饰

后音色修饰包括演奏控制及声音效果。就本例而言, 我们的主要目的是为减法合成的铜管音色添加自然颤音效果。

步骤 6:

根据算法分析调用低频振荡器:

操作 A: 执行 GP01 调用低频振荡器 *LFOC*。

设置低频振荡器参数:

操作 B: 执行 GP05, 将低频振荡器 *LFOC1* 的频率设定为 4.07Hz。

根据算法, 我们需要对基频和分音振荡器同时施加颤音, 因此需要设置代表基频的振荡器 *OscB1* 和代表分音的振荡器 *MasterOsc1* 的音高调制量:

操作 C: 执行 GP05, 将振荡器 *OscB1* 的音高调制量(左)设定为 16。

操作 D: 执行 GP05, 将振荡器 *MasterOsc1* 的音高调制量(左)设定为 15。

将低频振荡器分别与振荡器串型连接, 获得自然颤音效果

操作 E: 执行 2 次 GP03 连线, 起始端口: 低频振荡器 *LFOC1* 蓝色方形控制输出; 目标端口按串型方式分别为: 振荡器 *OscB1* 和 *MasterOsc1* 的蓝色圆形控制输入(左)。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *06.pch。

这时, 各模块之间关系见图 4.6.07 减法合成铜管音色步骤 6:

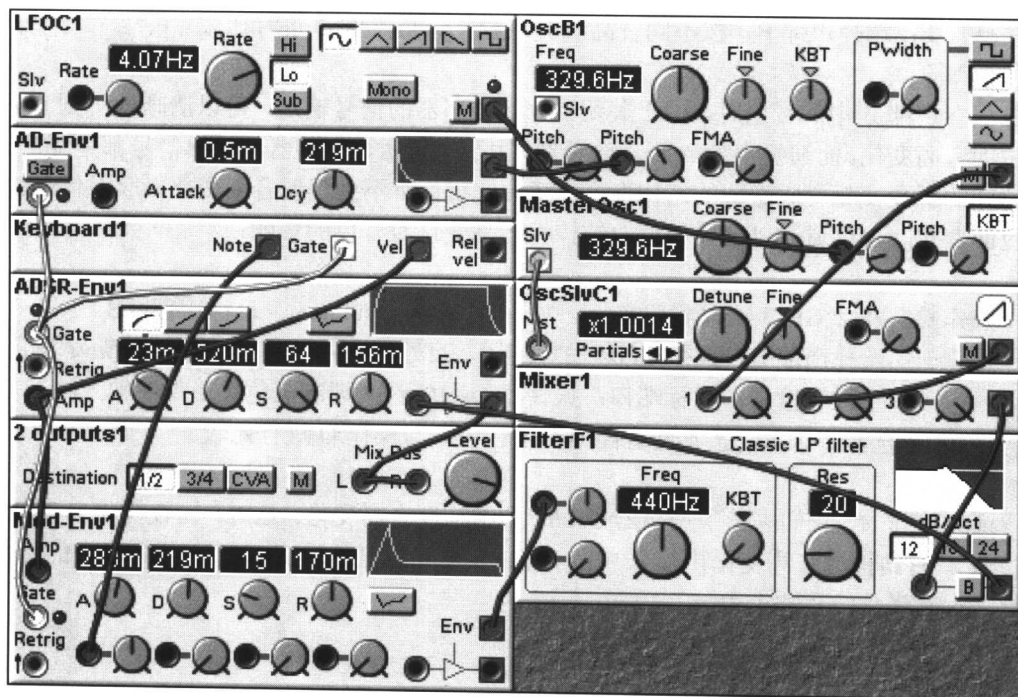


图 4.6.07 减法合成铜管音色步骤 6

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: Brass_sub06.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

至此, 我们完成了通过 Nord Modular, 采用减法合成原理合成铜管音色的工作。

五、音色讨论建议

针对减法合成的铜管音色特点, 我们对大家在音色制作完成之后, 通过实践对该音色

进行讨论分析的内容有如下建议:

1. 理解结构性音高变化对音色的影响

音色的结构性音高变化具有隐蔽性,也就是说这种音高变化反映在听觉上并不是音高的变动,而是音色的变化。建议操作如下:

操作 A: 执行 GP15 关闭所有音色窗口。

操作 B: 执行 GP13 读取演示音色, 文件名: Brass_sub.pch; 目标声部: A。

操作 C: 执行 GP13 读取演示音色, 文件名: Brass_sub.pch; 目标声部: B。

操作 D: 选择声部 A, 按不同音高演奏该音色。

操作 E: 选择声部 B, 点击 *OscSlvC1* 中带字母“M”的方形按钮 (解除哑音开关状态), 使其都变成这个状态: (激活哑音开关状态)。屏蔽振荡器 *OscSlvC1* 所产生的信号。

操作 F: 选择声部 B, 按不同音高演奏该音色, 与操作 D 进行比较。

演奏声部 B 中的音色时, 由于关闭了分音振荡器的信号输出, 可以清晰地听到 *OscB1* 产生的音高变化。而演奏声部 A 中的音色时, 由于这时两个振荡器的输出信号都是开启的, 可感知的音高变化变成隐蔽的结构性音高变化, 我们听不到任何音高变化, 取而代之的是音色的变化。建议通过以下操作比较结构性音高变化对音色的影响:

操作 G: 执行 GP13 读取演示音色, 文件名: Brass_sub.pch; 目标声部: B。

操作 H: 选择声部 B, 执行 GP04 去掉连线。起始端口: 包络发生器 *AD-Env1* 蓝色方形控制输出; 目标端口: 振荡器 *OscB1* 音高调制蓝色圆形控制输入(右)。

操作 I: 选择声部 B, 按不同音高演奏该音色, 与操作 D 进行比较。

通过操作 H, 我们去掉了振荡器 *OscB1* 的结构性音高变化。这时, 比较操作 D 与操作 I 发现, 具有结构性音高变化声部 A 中的音色, 要比没有结构性音高变化声部 B 中的音色, 听起来群感强且较具冲击力。

2. 理解本例滤波器 KBT 功能的作用

滤波器的 KBT 功能可以使滤波器随着演奏音高的变化, 改变截止频率的高低。Nord Modular 中, 滤波器 *FilterF* 的 KBT 功能默认状态是开启的, 也就是随着演奏音高的变化, 滤波器的截止频率也在变化。实际上我们获得了声谱内容随演奏音高的变化。是否开启 Nord Modular 中滤波器 KBT 的功能, 要根据音色合成的需要, 具体问题具体分析。建议操作如下:

操作 A: 执行 GP13 读取演示音色, 文件名: Brass_sub.pch; 目标声部: C。

操作 B: 执行 GP13 读取演示音色, 文件名: Brass_sub.pch; 目标声部: D。

操作 C: 选择声部 C, 按不同音高演奏该音色。

操作 D: 选择声部 D, 执行 GP05 将滤波器 *FilterF1* 的 KBT 旋钮的取值设定为 Key。

操作 E: 选择声部 D, 按不同音高演奏该音色, 与操作 C 进行比较。

经过比较 E 与操作 C 可以发现, 当在低音区演奏减法合成的铜管音色时, 声部 C 中的音色要比声谱 D 明亮得多。造成声谱 D 低音区音色暗淡的原因是, 经过操作 D, 开启了滤波器的 KBT 功能, 意味着滤波器的基础截止频率将随着演奏音高变化。也就是说滤波器的截止频率范围不是固定的在 440Hz 至 7.04KHz 之间, 在演奏低音区时要远低于这个范围。最高截止频率的降低导致整个音色明显地变暗了。

大多数情况, 滤波器的 KBT 功能可以使我们方便地获得声谱内容随演奏音高的变化。然而在本例音色特征描述中我们已经介绍, 铜管音色无论音区高低都比较明亮, 因此本例中为确保低音区的铜管音色仍然保持明亮的特点, 反而需要关闭滤波器的 KBT 功能。

练习题:

- 一. 比较观察具有结构性音高变化前后, 铜管音色波形与声谱的异同。
- 二. 试利用所掌握的合成知识, 减小不同音区, 铜管音色音头明暗变化的速率差异。

第7讲 减法合成电钢琴音色(之一)

本讲中,我们将通过减法合成的方法,完成电钢琴音色合成工作的前半部分。

一、音色分析

本部分内容包括以下几个部分:首先对该音色进行特征描述、然后根据绘制的算法框图进行算法分析。

1. 音色特征描述

电钢琴音色以其清亮透彻地音质有别于传统声学钢琴。但在音色变化模式方面,基本上模仿传统钢琴的音色变化。如音色力度受演奏力度控制;音色力度响应随演奏音区的不同而不同,同样演奏力度下,高音区的音色比低音区的力度响应要小;随演奏音区的不同,音色力度随时间的响应不同,低音区延音要长一些,高音区则短一些;随演奏力度的不同,音色的明暗度不同,力度强时比力度弱时音色明亮一些;随演奏音区的不同,音色的明暗度不同,高音区的音色比低音区明亮等。

2. 绘制算法框图

根据上面的音色特征,我们绘制出采用减法合成方法合成电钢琴音色的算法框图,见图 4.7.01 减法合成电钢琴音色流程图:

3. 算法分析

按照图 4.7.01 中信号流程,我们对减法合成电钢琴音色的操作步骤流程进行以下分析:

- 采用锯齿波振荡器 Osc1 作为电钢琴音色基频的声源振荡器;采用正弦波振荡器 Osc2 作为电钢琴音色高频分音的声源振荡器,其与基频的频率比为 7.1111:1,是典型的电钢琴高频分音频率。
- 基频振荡器波形经斜率为 6dB,无共振,截止频率 124Hz 的低通滤波器 LP1 修饰后,去掉不需要的高频能量。
- 基频振荡器与分音振荡器产生的信号相加后,经斜率 12dB,无共振,截止频率从 65Hz 到 1.32KHz 的低通滤波器 LP,修饰为典型的电钢琴静态声谱。
- 包络发生器 ADSR1,确保正确的电钢琴音色力度随时间的响应。较快的音头经一定时间的衰减后,直至最小。经修饰的静态声谱受演奏力度影响,随演奏力度的改变成比例地变化。
- 包络发生器 ADSR1 衰减时间受演奏音高的调制量为-23,获得钢琴音色的延音长度随演奏音区,成反比的变化。
- 通过 Scale 改变演奏音高的比例大小,获得音色力度随演奏音高的补偿变化。
- 通过包络发生器 ADSR2,获得电钢琴音色明暗度随时间的变化。926 毫秒的衰减时间及 25 的延留值,使电钢琴音色由明至暗地变化。

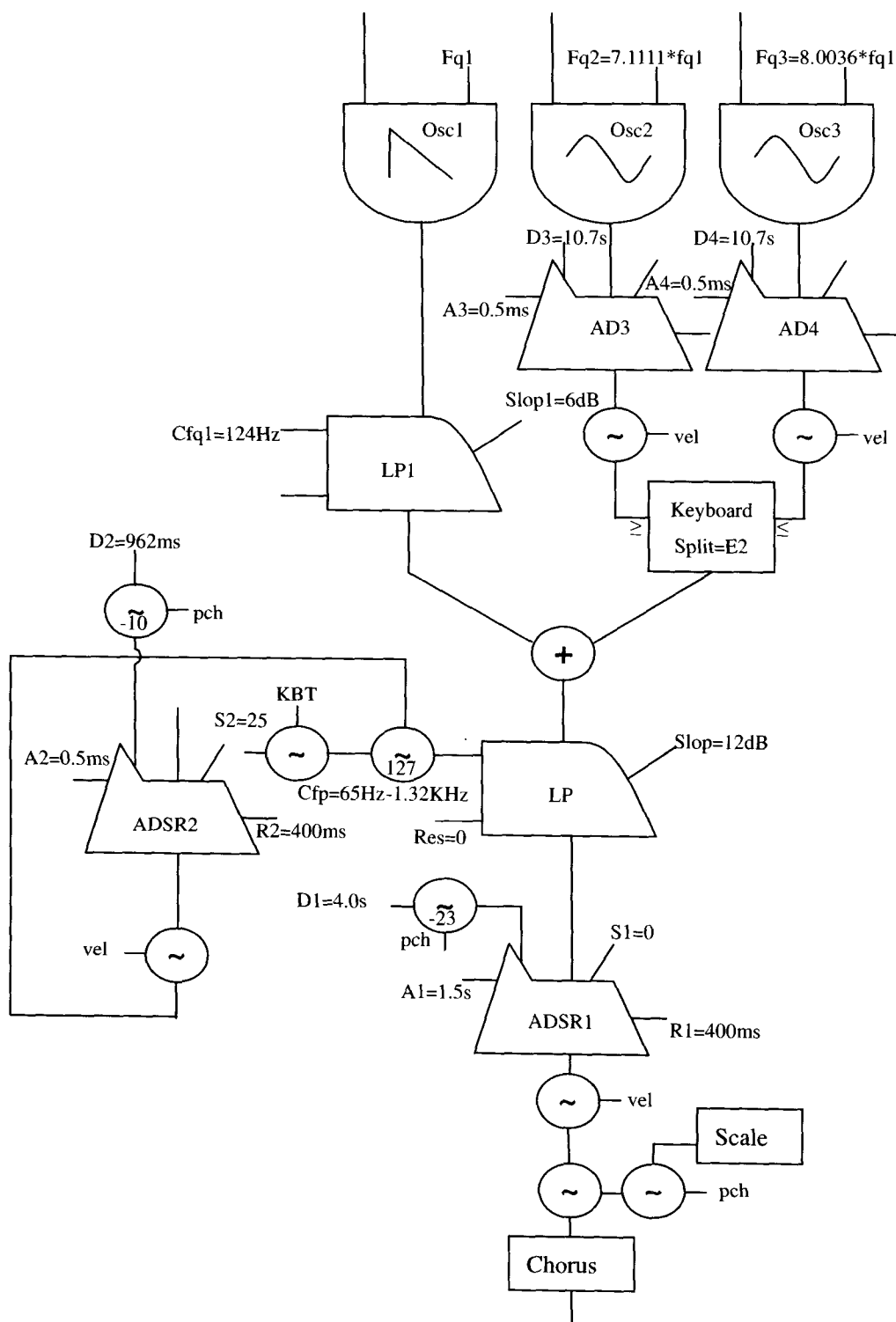


图 4.7.01 减法合成电钢琴音色流程图

- 包络发生器 ADSR2 的输出大小随演奏力度成比例变化,使得电钢琴音色的明暗度可以根据演奏力度成正比例变化。
- 包络发生器 ADSR2 衰减时间受演奏音高的调制量为-10,获得电钢琴音色亮度随演奏音区的变化。
- 加载于振荡器 Osc2 上的,受演奏力度调制的简单包络发生器 AD3,获得对分音振幅的单独控制。
- 由于人耳对声音振幅的感知特性,在低音区,Osc2 的声音突显出来,脱离开声谱成为了独立的音高,为避免这一缺陷,采用另外一组,频率与基频振荡器比值为 8.0036 的振荡器 Osc3,作为低音区时的分音声源振荡器。
- 加载于振荡器 Osc3 上的,受演奏力度调制的简单包络发生器 AD4,获得对分音振幅的单独控制。
- 键盘分割器 Keyboard Split 判断当音区低于 E2 时,Osc2 产生的信号作为分音声源振荡器与基频振荡器相加;当音区高于 E2 时,采用 Osc3 产生的信号作为分音振荡器与基频振荡器信号相加。
- 经合唱效果器在音频输出前对整个音色进行后音色修饰。

下面让我们根据音色分析的结果,通过 Nord Modular,按步骤完成减法合成电钢琴音色的合成与制作工作。

二、获得静态声谱

获得静态声谱主要包括获得声源及对声谱进行修饰。

1. 获得声源

执行 GP11^①做好系统准备;执行 GP15 关闭目前所有音色窗口;执行 GP12 新建一音色,目标声部:A。

步骤 1:

根据算法,采用主属振荡器组合的方式,调用主振荡器:

操作 A: 执行 GP01 调用主振荡器 *MasterOsc*^②。

调用基频声源振荡器,产生锯齿波的属振荡器:

操作 B: 执行 GP01 调用属振荡器 *OscSlvC*。

调用分音声源振荡器,产生正弦波的属振荡器,设置其频率比:

操作 C: 执行 GP01 调用属振荡器 *OscSlvE*,自动名称为 *OscSlvE1*。

操作 D: 执行 GP05 将属振荡器 *OscSlvE1* 的频率比设定为 7.1111。

采用串型连接激活主振荡器对属振荡器的控制:

操作 E: 执行 2 次 GP03 连线,启始端口:振荡器 *MasterOsc1* 灰色方形 *Slv* 输出;目标端口按串型连接方式分别为:振荡器 *OscSlvC1* 和 *OscSlvE1* 灰色圆形 *Mst* 输入。

调用混合器,将基频振荡器信号与分音振荡器信号相加:

操作 F: 执行 GP01 调用混合器 3 inputs mixer。

操作 G^①: 执行 GP03 连线, 起始端口: 振荡器 OscSlvC1 红色方形音频输出; 目标端口: 混合器 Mixer1 红色圆形音频输入 1。

操作 H: 执行 GP03 连线, 起始端口: 振荡器 OscSlvE1 红色方形音频输出; 目标端口: 混合器 Mixer1 红色圆形音频输入 2。

通过混合器控制各振荡器振幅比例关系:

操作 I: 执行 GP05 将混合器 Mixer1 第 2 路输出大小设定为 90。

调用音频输出模块, 输出相加后的振荡器信号:

操作 J: 执行 GP01 调用音频输出模块 2 outputs。

操作 K: 执行 GP03 连线, 起始端口: 混合器 Mixer1 红色方形音频输出; 目标端口: 频输出模块 2 outputs1 红色圆形音频输入 L。

操作 L: 执行 GP03 连线, 起始端口: 频输出模块 2 outputs1 红色圆形音频输入 L; 目标端口: 频输出模块 2 outputs1 红色圆形音频输入 R。

这时我们已经能够听到声音了, 通过音频输出模块 2 outputs1 上的哑音开关(默认状态为解除状态 M)可以控制声音的送出与否。

执行 GP16 保存当前编辑音色, 文件名: *01.pch。

这时, 各模块之间关系见图 4.7.02 减法合成电钢琴音色步骤 1:

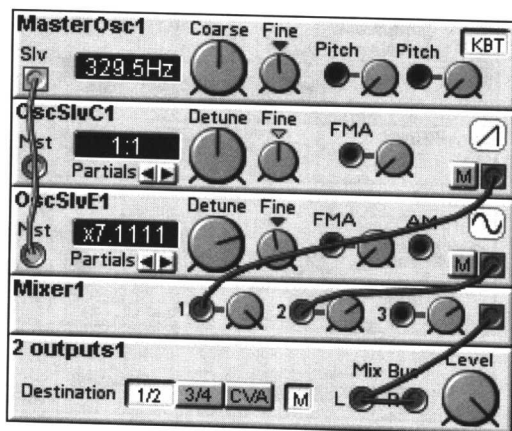


图 4.7.02 减法合成电钢琴音色步骤 1

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: EPiano_sub01.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

2. 修饰声谱

步骤 2:

首先对基频振荡器进行滤波修饰, 根据算法调用简易低通滤波器:

^① 为方便查找, 我们将在未来步骤中有可能被重新执行的步骤编码上增加了方框标记。

操作 A: 执行 GP01 调低通滤波器 *FilterA*。

设置低通滤波器参数:

操作 B: 执行 GP05 将低通滤波器 *FilterA1* 的截止频率设定为 124Hz。

断开基频振荡器与混合器的连接:

操作 C: 执行 GP04 去掉步骤 1 操作 G 中的连线。

通过滤波器修饰基频振荡器信号:

操作 D: 执行 GP03 连线, 起始端口: 振荡器 *OscSlvC1* 红色方形音频输出; 目标端口: 低通滤波器 *FilterA1* 红色圆形音频输入。

操作 E: 执行 GP03 连线, 起始端口: 低通滤波器 *FilterA1* 红色方形音频输出; 目标端口: 混合器 *Mixer1* 红色圆形音频输入 1。

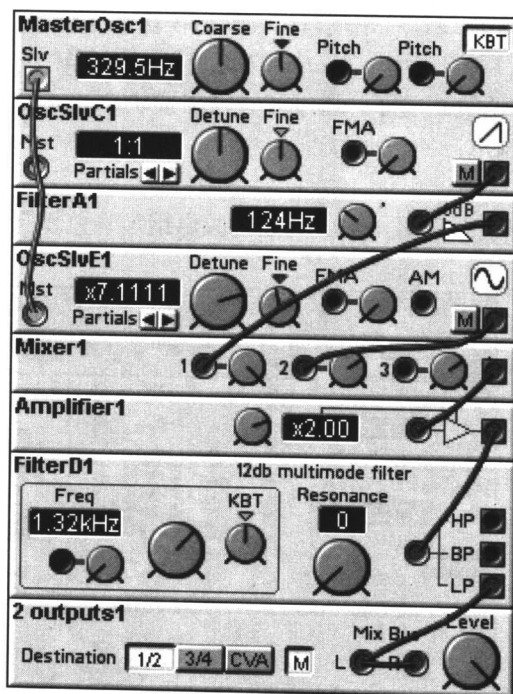


图 4.7.03 减法合成电钢琴音色步骤 2

根据经验, 滤波后的信号需要放大, 调用放大模块, 并设置放大倍数:

操作 F: 执行 GP01 调用放大器模块 *Amplifier*。

操作 G: 执行 GP05 将放大器模块 *Amplifier1* 的放大倍数设定为 2。

断开混合器原来与音频输出模块的连接:

操作 H: 执行 GP04 去掉步骤 1 操作 K 中的连线。

将混合相加后的振荡器信号送入放大器:

操作 I: 执行 GP03 连线, 起始端口: 混合器 *Mixer1* 红色方形音频输出; 目标端口: 放大器模块 *Amplifier1* 红色圆形音频输入。

根据算法, 对整个音色实施滤波的低通滤波器, 需具备截止频率调制功能:

操作 J: 执行 GP01 调用低通滤波器 *FilterD*。

由于算法要求的斜率与共振均为所调用滤波器的默认值, 因此现在只需设定低通滤波器的截止频率参数:

操作 K: 执行 GP05, 将低通滤波器 *FilterD1* 的截止频率设定为 1.32KHz。

通过滤波器对整个音色进行声谱修饰:

操作 L: 执行 GP03 连线, 起始端口: 放大器模块 *Amplifier1* 红色方形音频输出; 目标端口: 低通滤波器 *FilterD1* 红色圆形音频输入。

操作 M: 执行 GP03 连线, 起始端口: 低通滤波器 *FilterD1* 红色方形音频输出 LP; 目标端口: 音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 L。

通过音频输出模块 2 *outputs1* 上的哑音开关(默认状态为解除状态)可以控制声音的送出与否。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *02.pch。

这时, 各模块之间关系见图 4.7.03 减法合成电钢琴音色步骤 2:

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: EPiano_sub02.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

至此, 我们获得了减法合成电钢琴音色的静态声谱。虽然声音已经基本具有电钢琴音色的特征, 但是要实现前文音色分析中要求的音色目的, 还需要获得动态的声谱响应。

三、获得动态声谱——获得音色力度随演奏时间、力度、音高变化

步骤 3:

获得音色力度随时间的变化主要依靠包络发生器, 根据算法, 本例中选择具有各段时间调制能力的包络发生器:

操作 A: 执行 GP01 调用包络发生器 *Mod-Env*, 自动名称为 *Mod-Env1*。

按照图 4.7.01 中规定设置包络发生器参数:

操作 B: 执行 4 次 GP05, 将包络发生器 *Mod-Env1* 的参数 A 和、D、S、R 分别设定为 1.5 毫秒、4 秒、0、400 毫秒。

通过键盘输入模块采集的音符开信息触发包络发生器:

操作 C: 执行 GP01 调用键盘输入模块 *Keyboard*。

操作 D: 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 黄色方形逻辑输出 *Gate*; 目标端口: 包络发生器 *Mod-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

在通过包络发生器影响音色力度响应之前, 需要将原来滤波器与音频输出模块的连接断开:

操作 E: 执行 GP04 去掉步骤 2 操作 M 中的连线。

通过包络发生器获得音色力度随时间的变化:

操作 F: 执行 GP03 连线, 起始端口: 滤波器 *FilterD1* 红色方形音频输出 LP; 目标端口: 包络发生器 *Mod-Env1* 红色圆形音频输入。

操作 G: 执行 GP03 连线, 起始端口: 包络发生器 *Mod-Env1* 红色方形音频输出; 目

标端口：音频输出模块 2 outputs 1 红色圆形音频输入 L。

获得音色力度随演奏力度的变化：

操作 H：执行 GP03 连线，起始端口：键盘输入模块 Keyboard1 蓝色方形控制输出 Vel；

目标端口：包络发生器 Mod-Env1 蓝色圆形控制输入 Amp。

为获得音色力度随演奏音高的变化，需要通过演奏音高对包络发生器的衰减时间进行调制，设置包络发生器衰减时间调制量：

操作 I：执行 GP05 将包络发生器 ModEnv1 的衰减时间调制量设定为-23。

获得音色力度随演奏音高的基本变化：

操作 J：执行 GP03 连线，起始端口：键盘输入模块 Keyboard1 蓝色方形控制输出 Note；

目标端口：包络发生器 Mod-Env1 衰减时间蓝色圆形控制输入。

一般电钢琴音色需要演奏和声性的音乐，因此需要更多的发音数：

操作 K：找到软件编辑器下拉式菜单下面标示的发音数(Voices)显示窗旁边带左右箭头的按钮，将所需发音数调整为 8。

执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：*03.pch。

这时，各模块之间关系见图 4.7.04 减法合成电钢琴音色步骤 3：

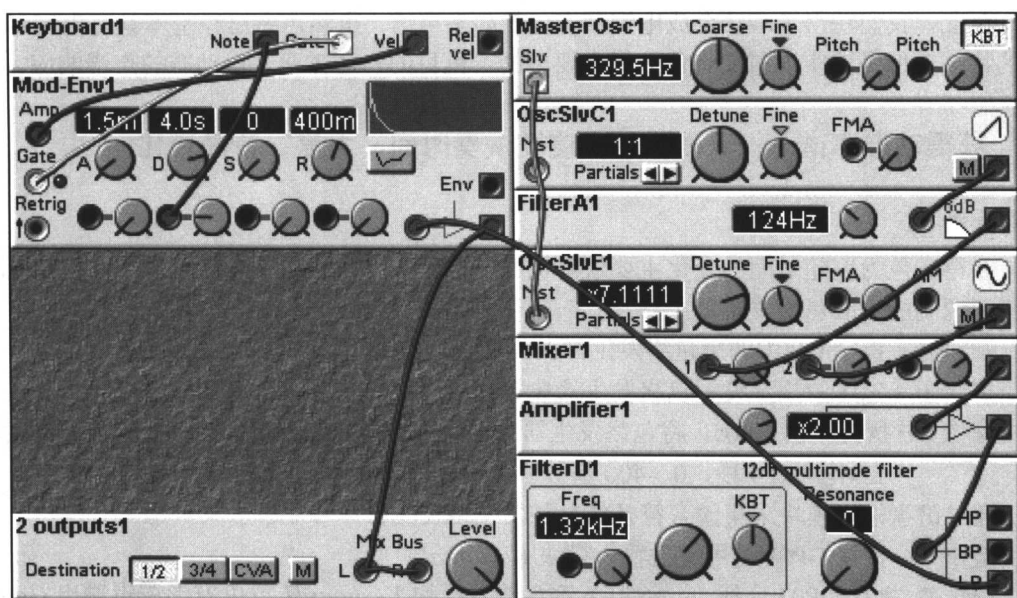


图 4.7.04 减法合成电钢琴音色步骤 3

读者也可以通过执行 GP13，文件名：EPiano_sub03.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

由于人耳对声音振幅感知的特性，再加上我们刚才通过操作 I 和 J 使电钢琴音色的延音长度随演奏音高成反比变化。因此，当在高频区演奏电钢琴音色时，发现音色的力度响

应过小, 需要进行补偿调整。

步骤 4:

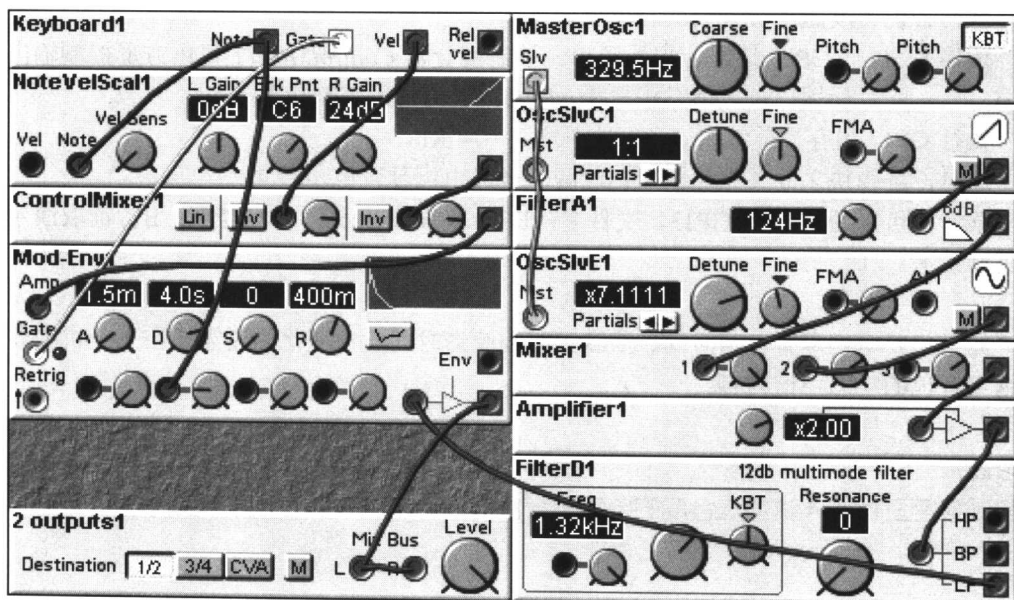


图 4.7.05 减法合成电钢琴音色步骤 4

补偿音色力度随演奏音高在本例中的含义是减小高音区音色力度下降的幅度。我们采用的方法是将演奏音高信息按比例变化后, 与调制包络发生器的演奏力度信息混合, 共同完成对音色力度响应的调制。首先调用音高力度比例模块:

操作 A: 执行 GP01 调用音高力度比例模块 *NoteVelScal*。

将演奏音高信息送入音高力度比例模块:

操作 B: 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Note*;
目标端口: 音高力度比例模块 *NoteVelScal1* 蓝色圆形控制输入 *Note*。

设置音高力度比例模块参数:

操作 C: 执行 2 次 GP05, 将音高力度比例模块 *NoteVelScal1* 的音高分割点 *Brk Pnt* 和分割点右侧增益 *R Gain* 分别设定为 C6 和 24dB。

为将演奏力度信息与按比例变化后的演奏音高信息相加, 需要调用控制信号混合器:

操作 D: 执行 GP01 调用控制混合器 *ControlMixer*。

混合演奏力度信息与按比例变化后的演奏音高信息:

操作 E: 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Vel*;
目标端口: 控制混合器 *ControlMixer1* 第 1 路蓝色圆形控制输入(左)。

操作 F: 执行 GP03 连线, 起始端口: 音高力度比例模块 *NoteVelScal1* 蓝色方形控制输出; 目标端口: 控制混合器 *ControlMixer1* 第 2 路蓝色圆形控制输入(右)。

调整混合器各路输出大小：

操作 G：执行 2 次 GP05，将控制混合器 *ControlMixer1* 各路输出大小均设定为 110。

断开原来演奏力信息对包络发生器的直接调制：

操作 H：执行 GP04 去掉步骤 3 操作 H 中的连线。

获得音色力度随演奏音高的补偿变化：

操作 I：执行 GP03 连线，起始端口：控制混合器 *ControlMixer1* 蓝色方形控制输出；

目标端口：包络发生器 *Mod-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：*04.pch。

这时，各模块之间关系见图 4.7.05 减法合成电钢琴音色步骤 4：

读者也可以通过执行 GP13，文件名：EPiano_sub04.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

如果想要电钢琴音色随时间、演奏力度和演奏时间发生变化，还需要在下一讲中获得电钢琴音色的动态声谱内容。

练习题：

比较观察第三章第 4 讲加法合成的电钢琴音色与本讲中电钢琴音色的波形与声谱差异。

第8讲 减法合成电钢琴音色(之二)

本讲中,我们继续通过减法合成的方法,完成电钢琴音色合成工作的后半部分。

一、获得动态声谱——获得动态的声谱内容变化

本例中,获得动态声谱内容包括三个部分:声谱内容随时间、演奏力度和演奏音高的变化。首先是声谱内容随时间的变化:

步骤 5:

根据算法需调用具有各段时间调制能力的包络发生器:

操作 A: 执行 GP01 调用包络发生器 *Mod-Env*, 自动名称为 *Mod-Env2*。

设置包络发生器参数:

操作 B: 执行 4 次 GP05, 将包络发生器 *Mod-Env2* 的参数 *A*、*D*、*S*、*R* 分别设定为 0.5 毫秒、962 毫秒、25、400 毫秒。

从键盘输入模块为包络发生器施加逻辑触发信号,这里采用从其它模块串连的方法:

操作 C: 执行 GP03 连线, 起始端口: 包络发生器 *Mod-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*; 目标端口: 包络发生器 *Mod-Env2* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

设置修饰整个音色的低通滤波器的截止频率调制量:

操作 D: 执行 GP05 将低通滤波器 *FilterD1* 的截止频率调制量设定为 127。

重新设定低通滤波器 *FilterD1* 的截止频率参数,以获得正确的随时间变化的截止频率值:

操作 E: 执行 GP05 将低通滤波器 *FilterD1* 的截止频率调设定为 65Hz。

获得声谱内容随时间的变化:

操作 F: 执行 GP03 连线, 起始端口: 包络发生器 *Mod-Env2* 蓝色方形控制输出; 目标端口: 滤波器 *FilterD1* 蓝色圆形控制输入。

本例中采用通过演奏力度调制控制滤波器截止频率的包络发生器 *Mod-Env2* 的方法,获得声谱内容随演奏力度的变化,连接上采用从其它模块串连的方式:

操作 G: 执行 GP03 连线, 起始端口: 控制混合器 *ControlMixer1* 第 1 路蓝色圆形控制输入(左); 目标端口: 包络发生器 *Mod-Env2* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

通过演奏音高调制控制滤波器截止频率的包络发生器 *Mod-Env2* 衰减阶段时间的方法,获得电钢琴音色的声谱内容随演奏音高的变化。设置控制滤波器截止频率的包络发生器 *Mod-Env2* 衰减阶段时间的调制量:

操作 H: 执行 GP05 将包络发生器 *Mod-Env2* 的衰减时间调制量设定为 -10。

同样,采用从其它模块串连的方式获得演奏音高信息:

操作 I: 执行 GP03 连线, 起始端口: 包络发生器 *Mod-Env1* 衰减时间调制量蓝色圆形控制输入; 目标端口: 包络发生器 *Mod-Env2* 衰减时间调制量蓝色圆形控制输入。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *05.pch。

这时，各模块之间关系见图 4.8.01 减法合成电钢琴音色步骤 5：

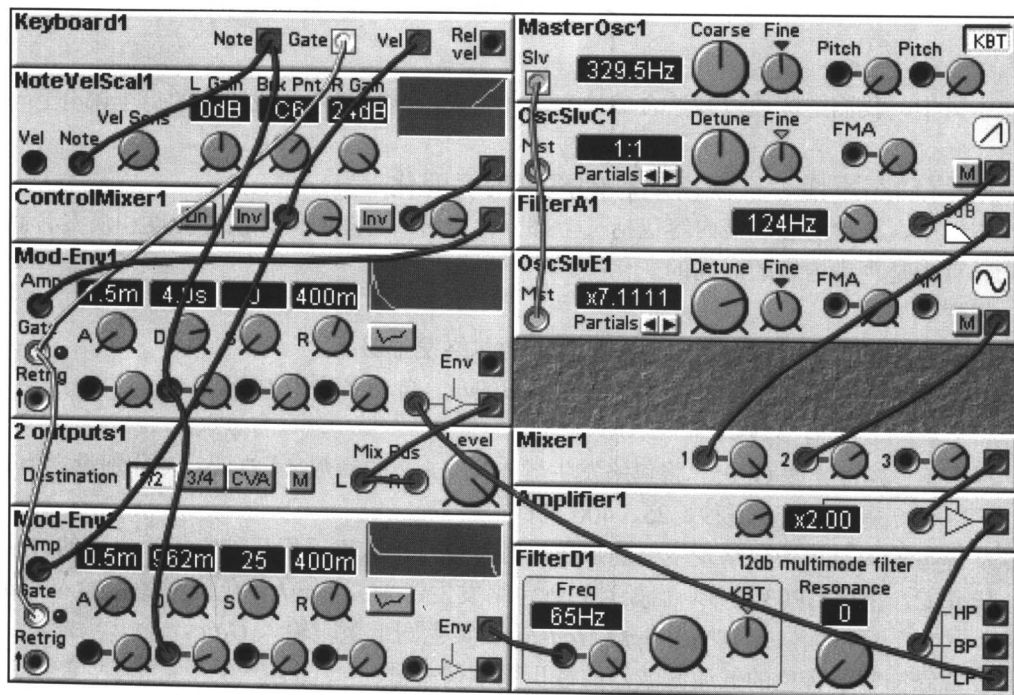


图 4.8.01 减法合成电钢琴音色步骤 5

读者也可以通过执行 GP13，文件名：EPiano_sub05.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

为获得更细致的音色变化，我们还需要控制减法合成电钢琴音色声谱中高频分音随演奏力度的振幅变化。

步骤 6:

根据算法，调用简单包络发生器：

操作 A：执行 GP01 调用包络发生器 *AD-Env*，自动名称为 *AD-Env1*。

设置简单包络发生器参数：

操作 B：执行 2 次 GP05，将包络发生器 *AD-Env1* 的触发时间参数 *A* 和衰减时间参数 *D* 分别设定为 0.5 毫秒和 10.7 秒。

为简单包络发生器施加逻辑触发信号：

操作 C：执行 GP03 连线，起始端口：键盘输入模块 *Keyboard* 黄色方形逻辑输出 *Gate*；
目标端口：包络发生器 *AD-Env1* 黄色圆形逻辑输入。

断开分音振荡器原来与混合器的连接：

操作 D：执行 GP04 去掉步骤 1 操作 H 中的连线。

经简单包络发生器输出分音振荡器的信号：

操作 E：执行 GP03 连线，起始端口：振荡器 *OscSlvE1* 红色方形音频输出；目标端口：包络发生器 *AD-Env1* 红色圆形音频输入。

操作 F：执行 GP03 连线，起始端口：包络发生器 *AD-Env1* 红色方形音频输出；目标端口：混合器 *Mixer1* 红色圆形音频输入 2。

获得分音振幅随演奏力度的变化：

操作 G：执行 GP03 连线，起始端口：键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Vel*；目标端口：包络发生器 *AD-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：*06.pch。

这时，各模块之间关系见图 4.8.02 减法合成电钢琴音色步骤 6：

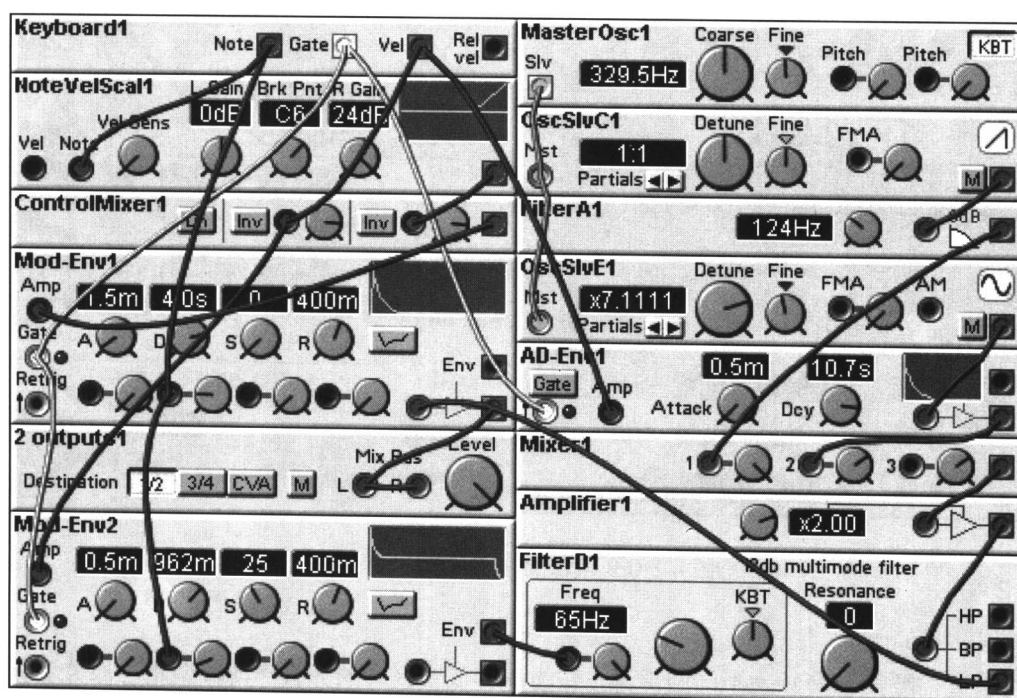


图 4.8.02 减法合成电钢琴音色步骤 6

读者也可以通过执行 GP13，文件名：EPiano_sub06.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

为使低音区获得正确的分音频率，我们还需要通过演奏音高，决定分音频率的高低。因为如果使分音频率随演奏音高成比例变化的方式，虽然可以解决低音区分音频率的误差，但是会影响到其它音区音色的感受，因此本例采用通过逻辑判断不同音区，采用不同频率分音的方法，解决低音区分音频率的误差问题。

步骤 7:

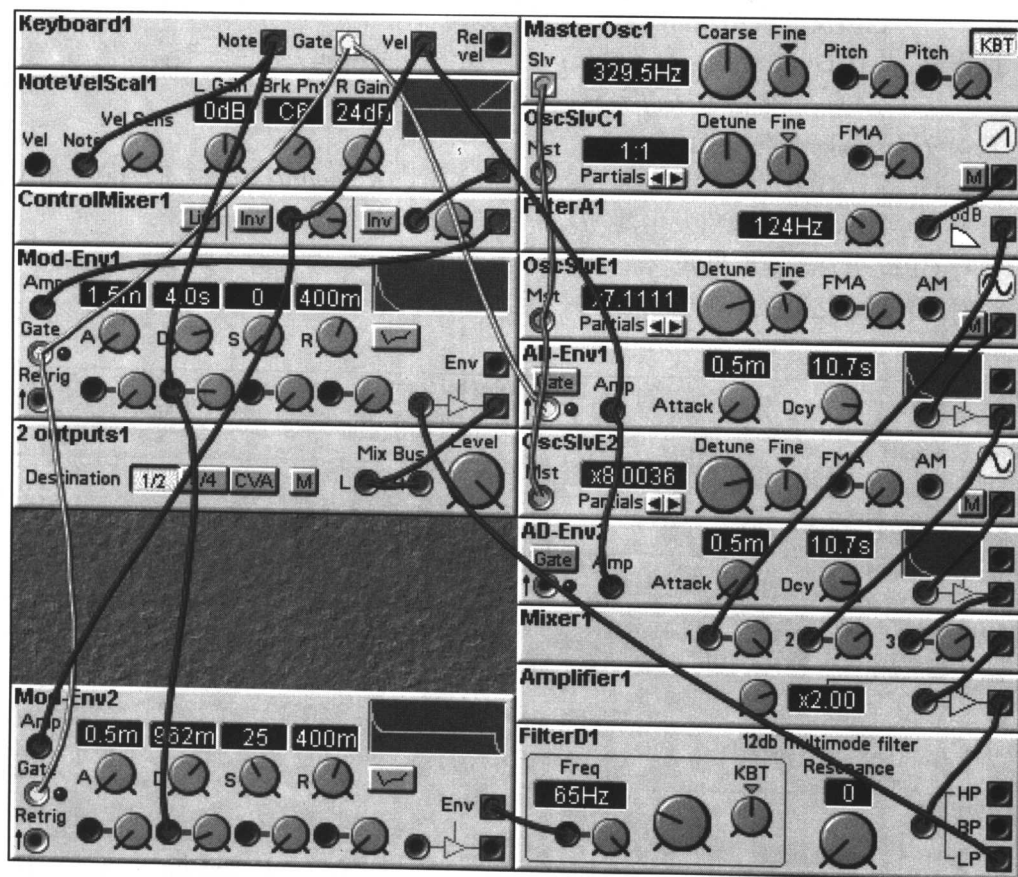


图 4.8.03 减法合成电钢琴音色步骤 7

首先需要第二套频率不同的声源，作为演奏低音区时的分音声源。调用与原分音振荡器相同的振荡器：

调用分音声源振荡器，产生正弦波的属振荡器，设置其频率比：

操作 A：执行 GP01 调用属振荡器 *OscSlvE*，自动名称为 *OscSlvE2*。

操作 B：执行 GP05 将属振荡器 *OscSlvE2* 的频率比设定为 8.0036。

采用串型连接激活主振荡器对属振荡器的控制：

操作 C：执行 GP03 连线，起始端口：振荡器 *OscSlvE1* 灰色圆形 *Mst* 输入；目标端口按串型连接方式分别为：振荡器 *OscSlvE2* 灰色圆形 *Mst* 输入。

为获得与原分音振荡器同样的，受演奏力度控制的分音振幅变化，需要调用同样的包络发生器：

操作 D：执行 GP01 调用包络发生器 *AD-Env*，自动名称为 *AD-Env2*。

设置简单包络发生器参数：

操作 E: 执行 2 次 GP05, 将包络发生器 *AD-Env2* 的触发时间参数 *A* 和衰减时间参数 *D* 分别设定为 0.5 毫秒和 10.7 秒。

经简单包络发生器输出分音振荡器的信号:

操作 F: 执行 GP03 连线, 起始端口: 振荡器 *OscSlvE2* 红色方形音频输出; 目标端口: 包络发生器 *AD-Env2* 红色圆形音频输入。

操作 G: 执行 GP03 连线, 起始端口: 包络发生器 *AD-Env2* 红色方形音频输出; 目标端口: 混合器 *Mixer1* 红色圆形音频输入 3。

调整混合器第 3 路输出大小以控制新分音振荡器的振幅:

操作 H: 执行 2 次 GP05, 将混合器 *Mixer1* 第 3 路输出设定为 90。

采用串联方法获得分音振幅随演奏力度的变化:

操作 I: 执行 GP03 连线, 起始端口: 包络发生器 *AD-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*; 目标端口: 包络发生器 *AD-Env2* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *07.pch。

这时, 各模块之间关系见图 4.8.03 减法合成电钢琴音色步骤 7:

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: EPiano_sub07.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

下面调用音高分割模块, 使音高分割器从键盘输入模块处获得演奏音高信息和逻辑触发信号。然后由各自产生的逻辑触发信号触发相应的分音振荡器。

步骤 8:

首先调用音高分割模块:

操作 A: 执行 2 次 GP01, 调用 2 个键盘分割器 *KeybSplit*, 自动名称分别为 *KeybSplit1* 和 *KeybSplit2*。

设置各键盘分割器的音高分割参数:

操作 B: 执行 GP05 将键盘分割器 *KeybSplit1* 的低音区参数 *Lower* 和高音区参数 *Upper* 分别设定为 F2 和 G9(最高音)。

操作 C: 执行 GP05 将键盘分割器 *KeybSplit2* 的低音区参数 *Lower* 和高音区参数 *Upper* 分别设定为 C1(最低音)和 E2。

采用从其它模块串连信号的方式使音高分割器从键盘输入模块获得演奏音高信息:

操作 D: 执行 GP03 连线, 起始端口: 包络发生器 *Mod-Env1* 衰减时间调制蓝色圆形控制输入; 目标端口按串型方式分别为: 键盘分割器 *KeybSplit1* 和键盘分割器 *KeybSplit2* 蓝色圆形控制输入 *Note*。

采用串型方式为各音高分割器施加逻辑触发信号:

操作 E: 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 黄色方形逻辑输出 *Gate*; 目标端口按串型方式分别为: 键盘分割器 *KeybSplit1* 和键盘分割器 *KeybSplit2* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

触发高音区, 分音振荡器的包络发生器:

操作 F: 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘分割器 *KeybSplit1* 黄色方形逻辑输出 *Gate*;

目标端口：包络发生器 *AD-Env1* 黄色圆形逻辑输入。

触发低音区，分音振荡器的包络发生器：

操作 **G**：执行 **GP03** 连线，起始端口：键盘分割器 *KeybSplit2* 黄色方形逻辑输出 *Gate*；

目标端口：包络发生器 *AD-Env2* 黄色圆形逻辑输入。

执行 **GP17** 另存当前编辑音色，文件名：**08.pch*。

这时，各模块之间关系见图 4.8.04 减法合成电钢琴音色步骤 8：

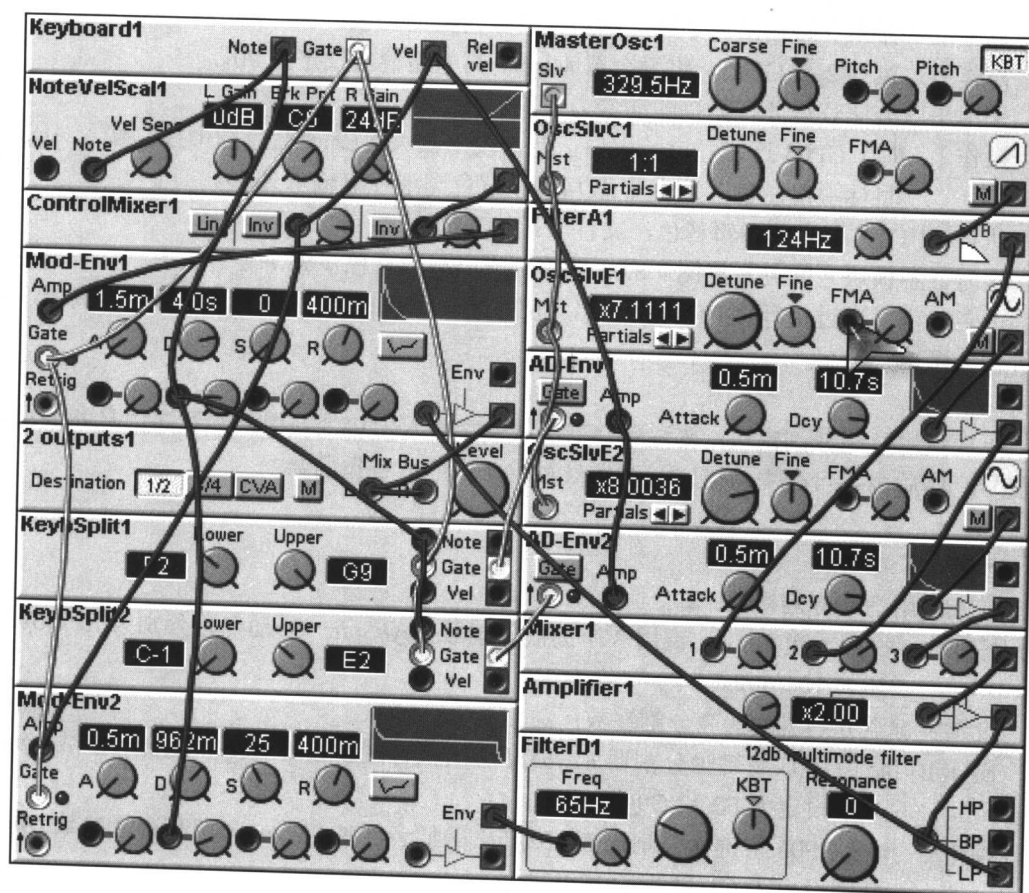


图 4.8.04 减法合成电钢琴音色步骤 8

读者也可以通过执行 **GP13**，文件名：*EPiano_sub08.pch*；目标声部：**B**，读取演示音色进行参考。

这时，减法合成的电钢琴音色已经具备算法要求的电钢琴音色特质，为了进一步美化音色，我们通过后音色修饰，完成减法合成电钢琴音色的全部合成与制作。

二、后音色修饰

后音色修饰包括演奏控制及声音效果。就本例而言，我们的主要目的是为减法合成的电钢琴音色添加声音效果。

步骤 9:

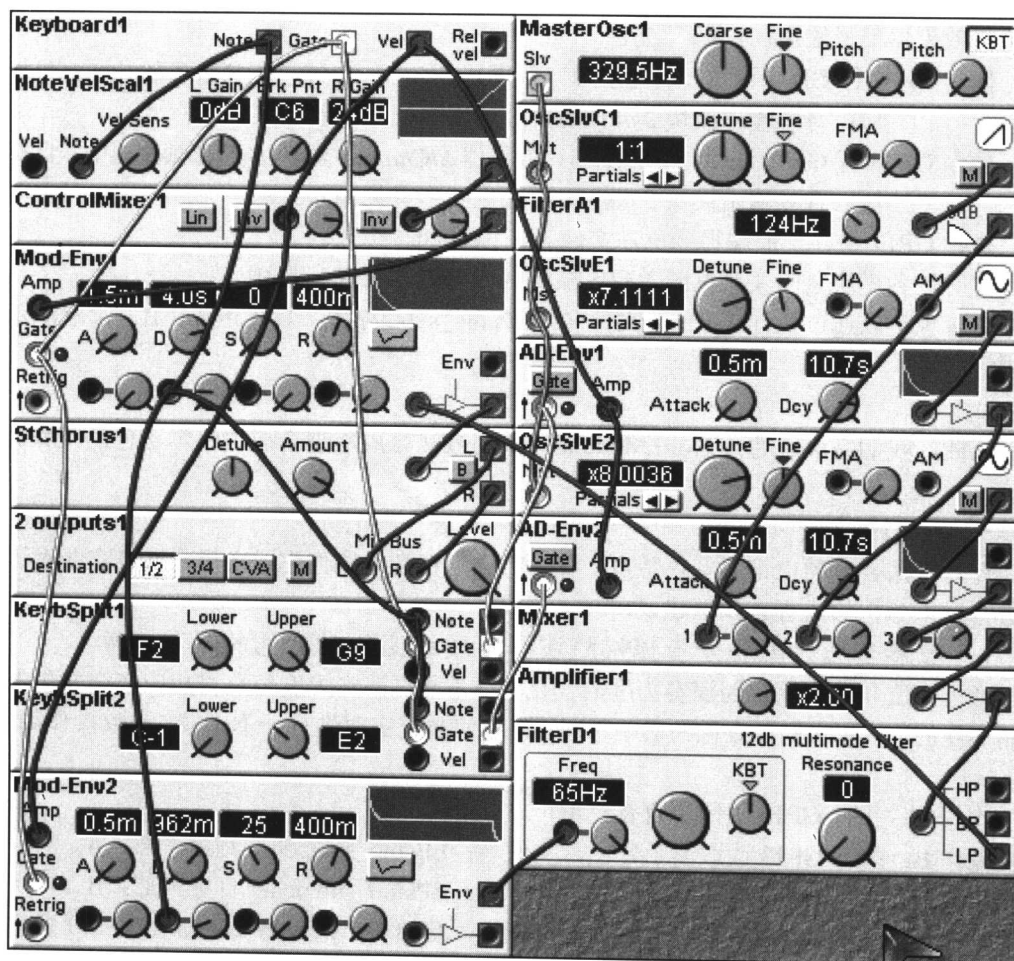


图 4.8.05 减法合成电钢琴音色步骤 9

调用效果器模块:

操作 A: 执行 GP01 调用立体声合唱效果器模块 *StChorus*。

设置效果器模块参数:

操作 B: 执行 2 次 GP05, 将效果器模块 *StChorus1* 的音高偏差参数 *Detune* 和效果声大小参数 *Amount* 分别设定为 65 和 120。

在通过效果器对整个音色进行效果处理之前, 需要将原来包络发生器与音频输出模块的连接断开:

操作 C: 执行 GP04 去掉步骤 3 操作 G 中的连线。

连接包络发生器与效果器模块:

操作 D: 执行 GP03 连线, 起始端口: 包络发生器 *Mod-Env1* 红色方形音频输出; 目标端口: 效果器 *StChorus1* 红色圆形音频输入。

由于我们调用的效果为立体声效果, 因此在将其处理信号送入音频输出模块之前, 需要将原来单声道输出时音频输出模块的串联方式断开:

操作 E: 执行 GP04 去掉步骤 1 操作 L 中的连线。

将效果器信号输出:

操作 F: 执行 GP03 连线, 起始端口: 效果器 *StChorus1* 红色方形音频输出 L; 目标端口: 音频输出模块 2 outputs 1 红色圆形音频输入 L。

操作 G: 执行 GP03 连线, 起始端口: 效果器 *StChorus1* 红色方形音频输出 R; 目标端口: 音频输出模块 2 outputs 1 红色圆形音频输入 R。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *09.pch。

这时, 各模块之间关系见图 4.8.05 减法合成电钢琴音色步骤 9:

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: EPiano_sub09.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

至此, 我们完成了通过 Nord Modular, 采用减法合成原理合成电钢琴音色的工作。

三、音色讨论建议

针对减法合成的电钢琴音色特点, 我们对大家在音色制作完成之后, 通过实践对该音色进行讨论分析的内容有如下建议:

1. 理解音色力度和分音振幅随演奏力度的变化对音色的不同影响

音色力度和分音振幅随演奏力度的变化, 都是通过演奏力度信息对相应包络发生器的调制实现的。然而它们对音色的影响不同, 让我们通过实践进行一下比较, 建议操作如下:

操作 A: 执行 GP15 关闭所有音色窗口。

操作 B: 执行 GP13 读取演示音色, 文件名: EPiano_sub.pch; 目标声部: A。

操作 C: 执行 GP13 读取演示音色, 文件名: EPiano_sub.pch; 目标声部: B。

操作 D: 选择声部 B, 执行 GP04 去掉连线, 起始端口: 包络发生器 *AD-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*; 目标端口: 包络发生器 *AD-Env2* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

操作 E: 选择声部 B, 执行 GP04 去掉连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Vel*; 目标端口: 包络发生器 *AD-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

声部 A 中的音色为默认音色, 其中音色力度和分音振幅可以随演奏力度发生变化; 通过操作 D 和 E, 我们摘除了声部 B 中音色, 分音振幅随演奏力度变化的功能, 只保留了音色力度随演奏力度的变化。让我们通过比较看一看音色力度和分音振幅随演奏力度的变化对音色的不同影响, 建议操作如下:

操作 F: 选择声部 A, 以强、弱两种力度演奏该音色。

操作 G: 选择声部 B, 以强、弱两种力度演奏该音色, 与操作 F 进行比较。

经过比较可以发现,声部 A 中具有分音振幅随演奏力度变化能力的音色,在弱力度演奏下,整体音色力度变弱的同时,高频分音振幅很小;强力度演奏下,整体音色的力度增强的同时,高频分音振幅变大,使电钢琴随着演奏力度的不同,发生音色明暗度的变化。而声部 B 中不具备分音振幅随演奏力度变化能力的音色,无论在强力度还是弱力度演奏下,只有整体音色力度随演奏力度的变化,高频分音的振幅与基频振幅的比例关系没有明显差异,也就是说明暗度没有改变——音质没有发生变化。

随演奏力度改变音色的力度响应,可以使被演奏音色显得自然,也便于不同音乐情绪的表达;随演奏力度改变音色声谱中分音振幅的响应,可以使被演奏音色产生音质的对比变化,是使音色显得生动、富有活力的必要条件之一。

2. 理解本例中矫正电钢琴音色低音区音高误差的不同方法

在本例减法合成电钢琴音色的实践过程中,我们遇到一个在加法合成电钢琴音色(参见第三章第 4 讲)时同样面临的问题:由于人耳对声音振幅感知的特点,当演奏该音色的音区低到一定程度时,高频分音会从整体的声谱感知中脱离出来,成为可被听到的,游离于音色之外的“不协和”音高。在加法合成电钢琴时,解决这个问题的方法是通过演奏音高信息,调制分音振荡器的振幅,减低在出现问题音区时,分音振荡器的振幅,从而使我们听不到游离出的声音,建议操作如下:

操作 A: 执行 GP15 关闭所有音色窗口。

操作 B: 执行 GP13 读取演示音色,文件名:EPiano_add05.pch;目标声部:A。

操作 C: 执行 GP13 读取演示音色,文件名:EPiano_add06.pch;目标声部:B。

操作 D: 选择声部 A,在 MIDI 键盘或利用编辑器提供的键盘工具,用该音色由高音区至低音区演奏任何一和弦的琶音。

操作 E: 选择声部 B,在 MIDI 键盘或利用编辑器提供的键盘工具,用该音色由高音区至低音区演奏任何一和弦的琶音,与操作 D 进行比较。

声部 A 为未进行矫正前加法合成的电钢琴音色,声部 B 为经过矫正的加法合成电钢琴音色。通过比较操作 D 与 E 可以发现,低音区的音高误差问题被成功地矫正了,但是由于该方法是改变低音区高频分音的振幅,等于改变了声谱分音在占有声学能量上的分配,因此低音区的音色发生了变化,音色感觉不是很另人满意的电钢琴声音。

在本例减法合成电钢琴中,我们采用随演奏音高改变分音频率的办法矫正这一误差。建议操作如下:

操作 F: 执行 GP13 读取演示音色,文件名:EPiano_sub06.pch;目标声部:C。

操作 G: 执行 GP13 读取演示音色,文件名:EPiano_sub08.pch;目标声部:D。

操作 H: 选择声部 C,在 MIDI 键盘或利用编辑器提供的键盘工具,用该音色由高音区至低音区演奏任何一和弦的琶音。

操作 I: 选择声部 D,在 MIDI 键盘或利用编辑器提供的键盘工具,用该音色由高音区

至低音区演奏任何一和弦的琶音，与操作 D 进行比较。

声部 C 为未进行矫正前减法合成的电钢琴音色，声部 D 为经过矫正的减法合成电钢琴音色。通过比较操作 H 与 I 可以发现，不仅低音区的音高误差问题被成功地矫正，同时在低音区保留了电钢琴应有的音质感觉。

至此，我们按照加减法成原理，完成了双簧管、“风声”、电贝司、弦乐、风琴、铜管与电钢琴共七个音色的声音合成任务。以实践的方式体会了减法合成中，获得静态声谱、获得动态声谱以及后音色修饰的方法。同时，通过每个音色的实践分析讨论，进一步理解了静态声谱、动态声谱以及后音色修饰对音色感知的影响。下面让我们学习声音合成与制作实践中的另一个重要合成方法——频率调制。

练习题：

按照本讲对音色进行力度及分音振幅的双重控制的方法，在第 4 讲练习题结果音色的基础上，为减法合成的弦乐音色增加更细致的音色表现。

第五章 频率调制

第 1 讲 FM 合成(之一)

FM 合成(FM Synthesis)是约翰·穆恩宁(John Chowning)将无线电调频技术,应用于声音合成领域的天才创举^①。其中,FM 是 Frequency Modulation 的缩写,含义是频率调制。

频率调制可以被理解为按照调制信号的振幅,对振荡器频率进行改变或失真的过程。在声音合成与制作中,自然是通过振荡器完成这项工作的,具体方法是,通过将一振荡器的输出信号与另一振荡器的频率参数端相加,对另一振荡器的输出信号进行调制。在 FM 合成中,这两个振荡器有专用的名称,产生调制信号的振荡器叫做调制(Modulator)振荡器,被调制的振荡器叫做载波(Carrier)振荡器。见图 5.0.01 FM 合成原理示意图:

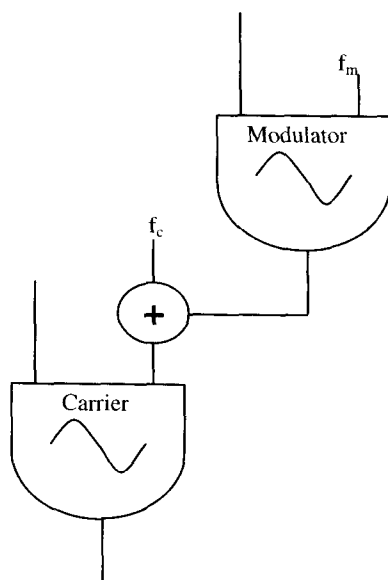


图 5.0.01 FM 合成原理示意图

如图 5.0.01 所示,调制振荡器 Modulator 的输出信号与载波振荡器 Carrier 的频率相加,对载波振荡器进行频率调制。一般情况下,调制振荡器的频率参数用“ f_m ”来表示,载波

① FM 合成技术已被 YAMAHA 购买,应用于电子合成器的先驱产品——YAMANA DX7 的制造中。

振荡器的频率用“ f_c ”表示。

在 Nord Modular 中, 实现 FM 的方法是通过将调制振荡器的输出信号, 送入载波振荡器的 FM 输入端, 然后控制 FM 输入端的调制深度。见图 5.0.02 Nord Modular FM 合成示意图:



图 5.0.02 Nord Modular FM 合成示意图

如图 5.0.02 所示, 作为调制振荡器的属振荡器 OscSlvE1 和作为载波振荡器的属振荡器 OscSlvE2 受主振荡器 MasterOsc1 控制, 调制振荡器 OscSlvE1 的输出信号(红色方形音频输出)被送入载波振荡器 OscSlvE2 的频率调制输入端口(红色圆形音频输入)FMA 中, 通过旁边的调制深度旋钮控制调制量。为了方便大家理解本章将进行的, FM 合成实践中声音算法的流程, 我们将 FM 合成的原理流程图更改成以下方式, 见图 5.0.03 FM 流程图:

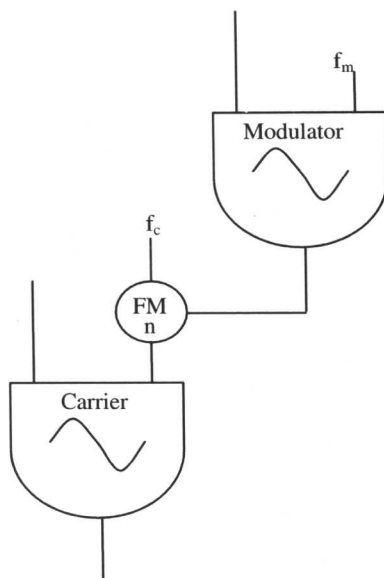


图 5.0.03 FM 流程图

与图 5.0.01 相比较, 图 5.0.03 中操作运算图形圆圈中的“+”被替换成文字“FM”, 其中的参数“n”表示调制深度的取值。

调制振荡器对载波振荡器频率的影响, 主要取决于两个因素: 一个是调制振荡器与载波振荡器的频率关系, 通常以频率比来表示; 另一个就是调制振荡器的振幅大小。在通过

Nord Modular 进行 FM 声音合成实践中, 这两个因素体现为: 调制振荡器与载波振荡器的频率关系(频率比), 以及调制深度旋钮的取值大小。让我们通过实例, 看一看 FM 合成方法对结果声谱的影响, 见图 5.0.04 不同调制深度 FM 声音波形及声谱包络示意图:

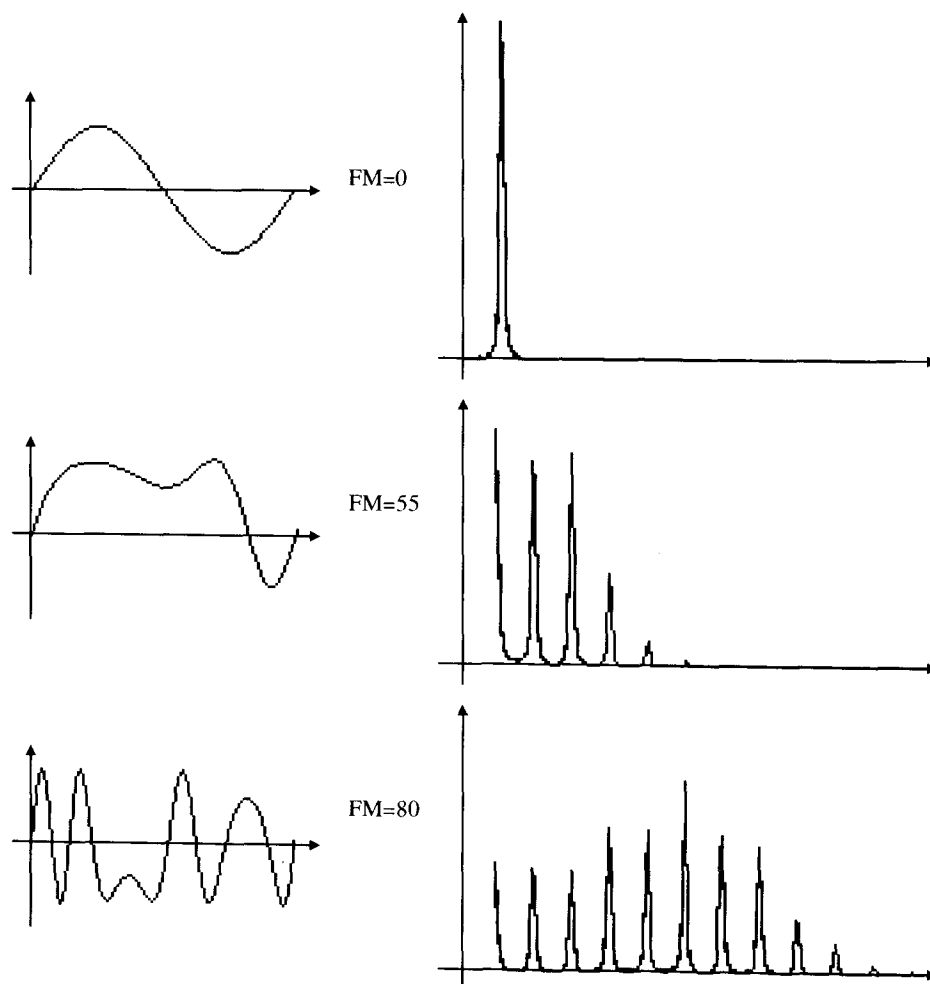


图 5.0.04 不同调制深度 FM 声音波形及声谱包络示意图

图 5.0.04 所示为通过 Nord Modular 实现的 FM 声音, 其中调制振荡器与载波振荡器为正弦振荡器, 基础频率都是 440Hz, 即频率比值为 1; 调制深度分别为 0、55 和 80 时, 经 FM 调制后, 结果声音的波形(图左)及声谱包络(图右)示意图。当调制深度为最小(0)时, 载波振荡器的频率没有受调制振荡器的任何影响, 输出波形就是一个典型的正弦波, 右边的声谱包络图显示所有声学能量都集中在基频的, 典型正弦波的声谱包络形状; 随着调制深度的增加, 波形变得越来越复杂; 声谱中包含的分音数量越来越多, 且结果声谱的带宽越来越宽; 声学能量在各分音上的分布不像调制深度为 0 时, 都集中在基频, 而是随着调制深度的增加, 声学能量在各分音上的分布越来越分散。

通过 FM 合成方法, 即使参与合成的振荡器波形为最简单的正弦波, 也可以获得相当

复杂的结果波形声谱。一般情况下,很少直接使用数字音频或实时音频等自然声源作为 FM 合成的材料,尤其是不将波形非常复杂的声源当作调制信号,因为如果这样做的话,结果声谱可能会由于过于复杂,反而不容易达到所需的合成目的,甚至失去了听觉意义。因此,在进行 FM 合成时,大都采用正弦波、三角波、锯齿波、方波等简单波形作为合成材料。

由上,我们对 FM 合成定义如下:采用简单波形,通过频率调制的方法获得目的声谱的声音合成方法叫做 FM 合成。本章中,我们将采用 FM 合成方法,进行一系列音色的合成实践。

通过 FM 合成方法进行声谱合成的步骤中,有关声谱修饰、演奏控制、声音效果等方面的内容,与前面第三章加法合成、第四章减法合成中介绍的方法基本相同^①。FM 合成与加法合成、减法合成步骤中,最大的差异之处在于获得静态声谱和获得动态声谱内容的方法。因此,在本章下面各讲的音色实践中,将着重介绍获得静态声谱和获得动态声谱内容的方法,省略有关声谱修饰、后音色修饰等内容的制作步骤,也就是说,本章中大部分音色的合成步骤是一个简化的合成过程,有兴趣的读者可以根据第三章和第四章中介绍过的方法,自己动手进行实践,补足本章中缺省的内容,完善合成音色的整体效果,完成全部的音色合成工作。

第一节 FM 合成“水滴声”音色

本节中,我们将利用 FM 合成方法,合成“水滴声”音色。

一、合成方案

本部分包括绘制算法框图及进行算法分析两方面内容。

1. 算法框图

“水滴声”指的是水滴落入水中发出的声音。随着水滴的大小,入水面积的大小等因素的不同,水滴声有着不同的基准音高;水滴落入水面中,在发出基准音高后,还有音高迅速由低至高滑动的现象;另外,水滴声一般都比较短,其振幅包络与打击乐比较相像。根据“水滴声”音色的特点,绘制简化的 FM 合成“水滴声”音色的算法框图,见图 5.1.01 FM 合成“水滴声”音色流程简图:

2. 算法分析

按照图 5.1.01 中信号流程,我们对 FM 合成“水滴声”音色的简化操作步骤流程进行以下分析:

- 调用产生正弦波的振荡器,作为“水滴声”的基本声源。
- 正弦波振荡器信号经包络发生器 AD 输出,0.5 毫秒的触发时间和 75 毫秒的衰减时间模拟出水滴落下的基本声音。输出信号受演奏力度控制,使音色力度随演奏力度成比例变化。

^① 参见本书第七章第一讲《合成原理综述》

- 根据图 5.1.01 中规定, 调制振荡器的频率值比较低, 为 0.77Hz, 超出了一般振荡器的频率范围, 因此需要调用低频振荡器作为调制振荡器, 根据算法, 需要该低频振荡器产生三角波。通过调制振荡器对载波振荡器进行 FM 调制, 调制深度为 90, 模拟水滴在落下后音色中的音高变化。
- 随每个演奏音符初始化低频振荡器的相位, 确保每个被演奏的“水滴声”的音高都是由低至高的变化。

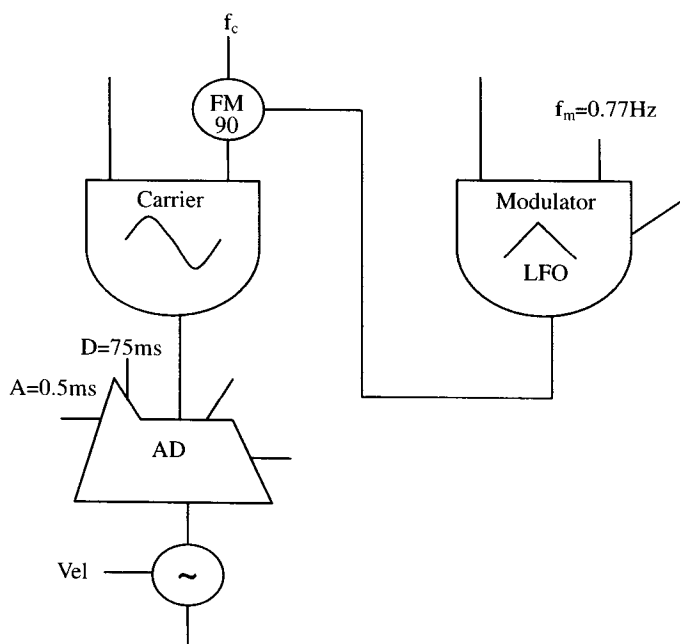


图 5.1.01 FM 合成“水滴声”音色流程简图

下面让我们根据上述制订的合成方案, 通过 Nord Modular, 按简化步骤完成 FM 合成“水滴声”音色的合成工作。

二、获得静态声谱

获得静态声谱包括获得声源及对声谱进行修饰。就本例而言, 主要任务是获得声源。

执行 GP11^①做好系统准备; 执行 GP15 关闭目前所有音色窗口; 执行 GP12 新建一音色, 目标声部: A。

步骤 1:

根据算法, 采用主振荡器与属振荡器的组合, 调用产生正弦波的振荡器:

操作 A: 执行 GP01, 调用主振荡器 *MasterOsc*^②。

操作 B: 执行 GP01, 调用属振荡器 *OscSlvE*。

激活主振荡器对属振荡器的控制:

操作 C: 执行 GP03 连线, 启始端口: 振荡器 *MasterOsc1* 灰色方形 *Slv* 输出; 目标端

① 有关编号为 GP# 的全局操作的具体步骤请参阅本书阅读指南。

② 使用斜体字表示的内容为 Nord Modular 中的模块名称或参数名称。

口：振荡器 *OscSlvE1* 灰色圆形 *Mst* 输入。

调用音频输出模块，按串型连接输出振荡器信号：

操作 D： 执行 GP01 调用音频输出模块 *2 outputs*。

操作 E^①： 执行 GP03 连线，起始端口：振荡器 *OscSlvE1* 红色方形音频输出；目标端口：音频输出模块 *2 outputs1* 红色圆形音频输入 *L*。

操作 F： 执行 GP03 连线，起始端口：音频输出模块 *2 outputs1* 红色圆形音频输入 *L*；目标端口：音频输出模块 *2 outputs1* 红色圆形音频输入 *R*。

这时我们已经能够听到声音了，通过音频输出模块 *2 outputs1* 上的哑音开关(默认状态为解除状态 **M**)可以控制声音的送出与否。

执行 GP16 保存当前编辑音色，文件名：*01.pch。

这时，各模块之间关系见图 5.1.02 FM 合成“水滴声”音色步骤 1：

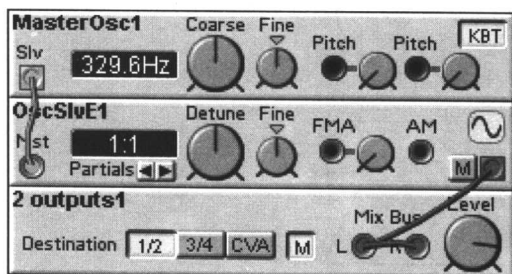


图 5.1.02 FM 合成“水滴声”音色步骤 1

读者也可以通过执行 GP13，文件名：Drops01.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

至此，我们通过 FM 的方法，获得了“水滴声”音色的静态声谱，根据算法，我们需要进一步获得该音色的动态声谱变化。

三、获得动态声谱

本例中，获得动态声谱包括获得音色力度随时间及演奏力度的变化和动态的声谱内容变化。

1. 获得音色力度随时间及演奏力度的变化

首先获得音色力度随时间的变化。

步骤 2：

调用包络发生器，为振荡器施加振幅包络，本例中调用了简单包络发生器：

操作 A： 执行 GP01 调用包络发生器 *AD-Env*。

根据算法设置包络发生器参数：

操作 B： 执行 2 次 GP05，将包络发生器 *AD-Env1* 的触发时间参数 *A* 和衰减时间参数 *D* 分别设定为 0.5 毫秒和 75 毫秒。

① 为方便查找，我们将在未来步骤中有可能被重新执行的步骤编码上增加了方框标记。

调用键盘输入模块，采集演奏信息：

操作 C：执行 GP01 调用键盘输入模块 *Keyboard*。

为包络发生器施加逻辑触发信号：

操作 D：执行 GP03 连线，起始端口：键盘输入模块 *Keyboard1* 黄色方形逻辑输出 *Gate*；

目标端口：包络发生器 *AD-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

在通过包络发生器控制振荡器振幅包络之前，需要将原来振荡器与音频输出模块的连接断开。

操作 E：执行 GP04 去掉步骤 1 操作 E 中的连线。

通过包络发生器控制音色力度随时间的响应。

操作 F：执行 GP03 连线，起始端口：振荡器 *OscSlvE1* 红色方形音频输出；目标端口：包络发生器 *AD-Env1* 红色圆形音频输入。

操作 G：执行 GP03 连线，起始端口：包络发生器 *AD-Env1* 红色方形音频输出；目标端口：音频输出模块 *2 outputs 1* 红色圆形音频输入 *L*。

接下来获得音色力度随演奏力度的变化。

操作 H：执行 GP03 连线，起始端口：键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Vel*；

目标端口：包络发生器 *AD-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：*02.pch。

这时，各模块之间关系见图 5.1.03 FM 合成“水滴声”音色步骤 2：

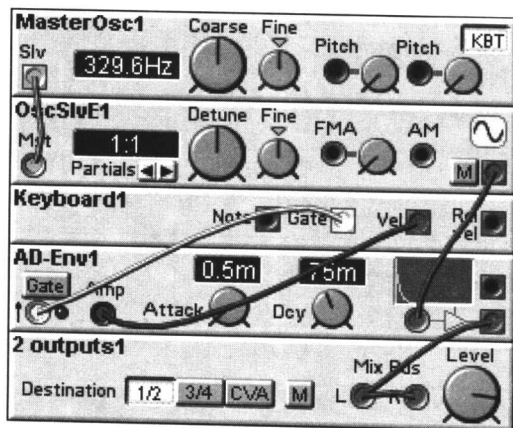


图 5.1.03 FM 合成“水滴声”音色步骤 2

读者也可以通过执行 GP13，文件名：Drops02.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

至此，我们已经可以通过 MIDI 键盘或编辑软件提供的键盘工具，实时演奏该音色，并获得了音色力度随时间和演奏力度的变化。根据算法，我们还需要获得该音色声谱内容随时间的变化。

2. 获得动态声谱内容

本例中通过调制振荡器对载波振荡器进行频率调制，获得动态声谱内容。

步骤 3:

根据算法需要调用具相位初始化功能的低频振荡器作为调制振荡器:

操作 A: 执行 GP01 调用低频振荡器 *LFOA1*。

设定作低频振荡器产生波形的类型为三角波:

操作 B: 点击低频振荡器 *LFOA1* 中标有三角波图形的按钮  (默认状态为关), 将其变为这个状态:  (激活三角波)。

设定作为调制振荡器的低频振荡器的速率:

操作 C: 执行 GP05, 将低频振荡器 *LFOA1* 的速率参数 *Rate* 设定为 0.77Hz。

通过调制振荡器对载波振荡器进行频率调制:

操作 D: 执行 GP03 连线, 起始端口: 低频振荡器 *LFOA1* 红色方形音频输出; 目标端口: 振荡器 *OscSlvE1* 红色圆形音频输入 *FMA*。

设定调制深度:

操作 E: 执行 GP05, 别将振荡器 *OscSlvE1* 的 FM 深度旋钮设定为 90。

随演奏音符初始化低频振荡器的相位:

操作 F: 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 黄色方形逻辑输出 *Gate*; 目标端口: 低频振荡器 *LFOA1* 黄色圆形逻辑输入 *Rst*。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *03.pch。

这时, 各模块之间关系见图 5.1.04 FM 合成“水滴声”步骤 3:

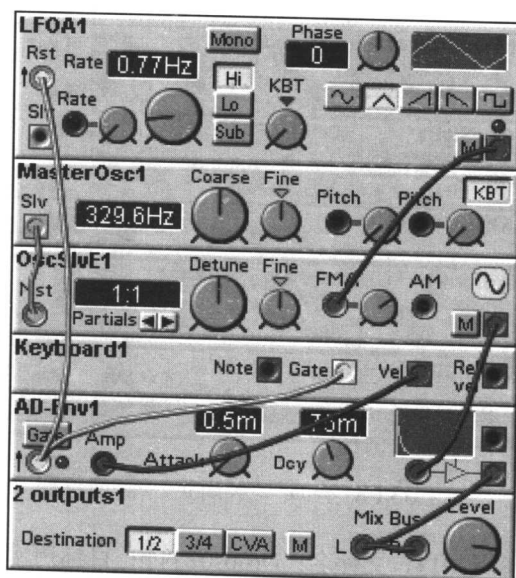


图 5.1.04 FM 合成“水滴声”音色步骤 3

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: Drops03.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

至此, 我们完成了通过 Nord Modular, 利用 FM 方法, 合成“水滴声”音色的工作。

第二节 FM 合成军鼓音色

本节中，我们将通过 FM 合成方法，简化合成军鼓音色。

一、合成方案

本部分包括绘制算法框图及进行算法分析两方面内容。

1. 算法框图

军鼓的音色主体由两部分声音构成，鼓皮的振动以及弹簧的振动声音。根据军鼓音色的特点，绘制简化的 FM 合成军鼓音色的算法框图，见图 5.1.05 FM 合成军鼓音色流程简图：

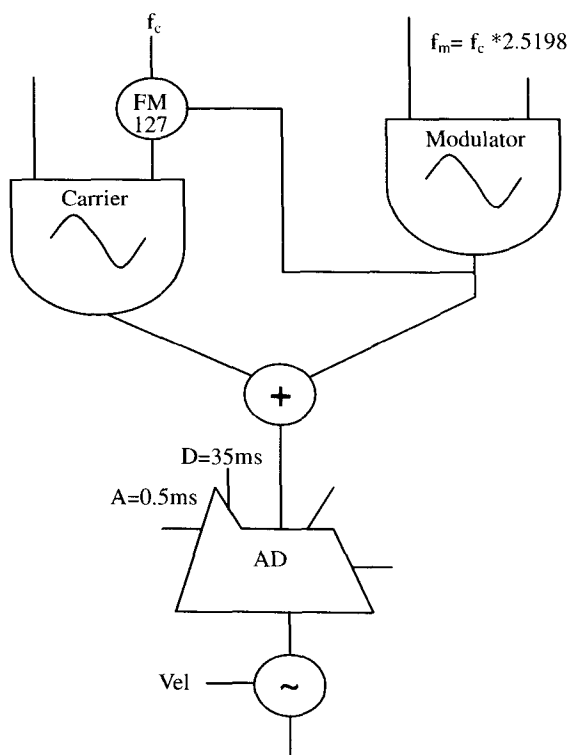


图 5.1.05 FM 合成军鼓音色流程简图

2. 算法分析

按照图 5.1.05 中信号流程，我们对 FM 合成军鼓音色的简化操作步骤流程进行以下分析：

- 调用产生正弦波的振荡器，按要求设定各振荡器频率后，将振荡器信号相加作为军鼓音色的基本声源。
- 正弦波振荡器信号相加后经包络发生器 AD 输出，0.5 毫秒的触发时间和 35 毫秒

的衰减时间模拟出军鼓音色中鼓皮振动的基本声音。输出信号受演奏力度控制，使音色力度随演奏力度成比例变化。

- 通过调制振荡器对载波振荡器进行 FM 调制，调制深度为 127，模拟军鼓音色中的弹簧振动声音。

下面让我们根据上述制订的合成方案，通过 Nord Modular，按简化步骤完成 FM 合成军鼓音色的合成工作。

二、获得静态声谱

获得静态声谱包括获得声源及对声谱进行修饰。就本例而言，主要任务是获得声源。

执行 GP11^①做好系统准备；执行 GP15 关闭目前所有音色窗口；执行 GP12 新建一音色，目标声部：A。

步骤 1：

根据算法，采用主振荡器与属振荡器的组合，调用产生正弦波的振荡器：

操作 A：执行 GP01，调用主振荡器 *MasterOsc*^②。

操作 B：执行 2 次 GP01，调用两个属振荡器 *OscSlvE*。自动名称为 *OscSlvE1*、*OscSlvE2*。

根据算法设置属振荡器与主振荡器的频率比：

操作 C：执行 GP05 将属振荡器 *OscSlvE1* 频率与主振荡器频率的比值设定为 2.5198。

按照串型方式激活主振荡器对属振荡器的控制：

操作 D：执行 2 次 GP03 连线，起始端口：振荡器 *MasterOsc1* 灰色方形 *Slv* 输出；目标端口按串型方式分别为：振荡器 *OscSlvE1* 和 *OscSlvE2* 灰色圆形 *Mst* 输入。

调用混合器将振荡器输出信号相加：

操作 E：执行 GP01，调用混合器 *3 inputs mixer*。

操作 F：执行 2 次 GP03 连线，起始端口分别为：属振荡器 *OscSlvE1* 和 *OscSlvE2* 红色方形音频输出；目标端口分别为：混合器 *Mixer1* 红色圆形音频输入 1 和 2。

调用音频输出模块，按串型连接输出相加后的振荡器信号：

操作 G：执行 GP01 调用音频输出模块 *2 outputs*。

操作 H^③：执行 GP03 连线，起始端口：混合器 *Mixer1* 红色方形音频输出；目标端口：音频输出模块 *2 outputs1* 红色圆形音频输入 L。

操作 I：执行 GP03 连线，起始端口：音频输出模块 *2 outputs1* 红色圆形音频输入 L；目标端口：音频输出模块 *2 outputs1* 红色圆形音频输入 R。

这时我们已经能够听到声音了，通过音频输出模块 *2 outputs1* 上的哑音开关(默认状态为解除状态)可以控制声音的送出与否。

执行 GP16 保存当前编辑音色，文件名：*01.pch。

这时，各模块之间关系见图 5.1.06 FM 合成军鼓音色步骤 1：

① 有关编号为 GP# 的全局操作的具体步骤请参阅本书附录三。

② 使用斜体字表示的内容为 Nord Modular 中的模块名称或参数名称。

③ 为方便查找，我们将在未来步骤中有可能被重新执行的步骤编码上增加了方框标记。

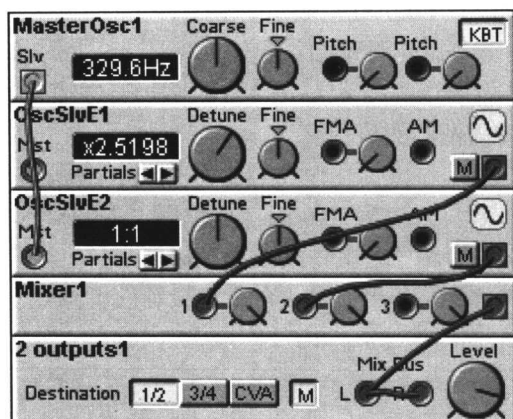


图 5.1.06 FM 合成军鼓音色步骤 1

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: Snare01.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

至此, 我们通过 FM 的方法, 获得了军鼓音色的静态声谱, 根据算法, 我们需要进一步获得该音色的动态声谱变化。

三、获得动态声谱

本部分内容包括获得音色力度随时间及演奏力度的变化, 以及获得军鼓音色中弹簧振动的声音。

1. 获得音色力度随时间及演奏力度的变化

首先获得音色力度随时间的变化。

步骤 2:

调用包络发生器, 为振荡器施加振幅包络, 本例中调用了简单包络发生器:

操作 A: 执行 GP01 调用包络发生器 *AD-Env*。

根据算法设置包络发生器参数:

操作 B: 执行 2 次 GP05, 将包络发生器 *AD-Env1* 的触发时间参数 *A* 和衰减时间参数 *D* 分别设定为 0.5 毫秒和 35 毫秒。

调用键盘输入模块, 采集演奏信息:

操作 C: 执行 GP01 调用键盘输入模块 *Keyboard*。

为包络发生器施加逻辑触发信号:

操作 D: 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 黄色方形逻辑输出 *Gate*; 目标端口: 包络发生器 *AD-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

在通过包络发生器控制振荡器振幅包络之前, 需要将原来混合器与音频输出模块的连接断开。

操作 E: 执行 GP04 去掉步骤 1 操作 H 中的连线。

通过包络发生器控制音色力度随时间的响应。

操作 F: 执行 GP03 连线, 起始端口: 混合器 *Mixer1* 红色方形音频输出; 目标端口:

包络发生器 *AD-Env1* 红色圆形音频输入。

操作 G: 执行 GP03 连线, 起始端口: 包络发生器 *AD-Env1* 红色方形音频输出; 目标端口: 音频输出模块 *2 outputs 1* 红色圆形音频输入 *L*。

接下来获得音色力度随演奏力度的变化。

操作 H: 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Vel*; 目标端口: 包络发生器 *AD-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *02.pch。

这时, 各模块之间关系见图 5.1.07 FM 合成军鼓音色步骤 2:

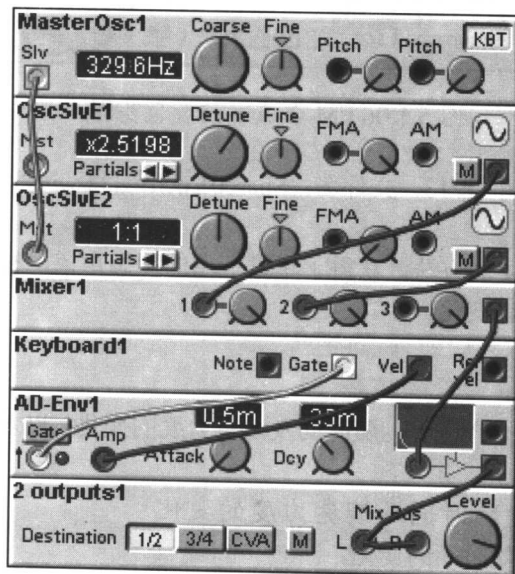


图 5.1.07 FM 合成军鼓音色步骤 2

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: Snare02.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

至此, 我们已经可以通过 MIDI 键盘或编辑软件提供的键盘工具, 实时演奏该音色, 并获得了音色力度随时间和演奏力度的变化。根据算法, 我们还需要获得军鼓音色中的弹簧振动声音。

2. 获得军鼓音色中弹簧振动的声音

本例中通过调制振荡器对载波振荡器进行频率调制, 模拟军鼓音色中弹簧的振动声音。

步骤 3:

通过调制振荡器对载波振荡器进行频率调制:

操作 A: 执行 GP03 连线, 起始端口: 振荡器 *OscSlvE1* 红色方形音频输出; 目标端口: 振荡器 *OscSlvE2* 红色圆形音频输入 *FMA*。

设定调制深度:

操作 B: 执行 GP05, 别将振荡器 *OscSlvE2* 的 FM 深度旋钮设定为 127。

执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：*03.pch。

这时，各模块之间关系见图 5.1.08 FM 合成军鼓步骤 3：

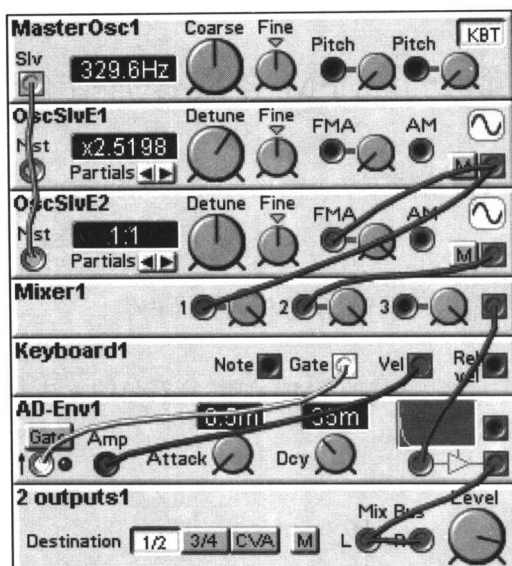


图 5.1.08 FM 合成军鼓音色步骤 3

读者也可以通过执行 GP13，文件名：Snare03.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

至此，我们通过 Nord Modular，采用 FM 合成原理，简化合成了军鼓音色。

练习题：

- 一. 观察水滴声音色的波形和声谱变化。
- 二. 试通过所学的合成知识，采用非 FM 的方法，获得水滴声音色。
- 三. 比较观察对载波振荡器施行频率调制前后，军鼓音色波形及声谱变化的异同。

第2讲 FM合成(之二)

第一节 FM合成铃声音色

本节中,我们将通过FM合成方法,简化合成铃声音色。

一、合成方案

本部分包括绘制算法框图及进行算法分析两方面内容。

1. 算法框图

根据铃声音色的特点,绘制简化的FM合成铃声音色的算法^①框图,见图5.2.01 FM合成铃声音色流程简图:

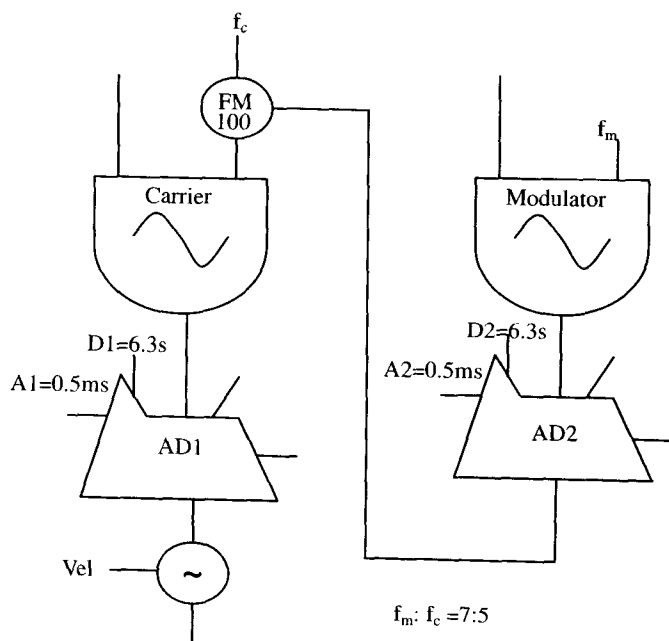


图 5.2.01 FM 合成铃声音色流程简图

2. 算法分析

按照图 5.2.01 中信号流程,我们对 FM 合成铃声音色的简化操作步骤流程进行以下分析:

^① 该算法是基于约翰·穆恩宁(John Chowning)的 FM 乐器设计之上,根据 Nord Modular 的特点制定的。

- 调用产生正弦波的调制振荡器与载波振荡器，将它们的频率比设定为 7:5。通过调制振荡器对载波振荡器进行 FM 调制，调制深度为 100，获得铃声音色的基本特征声谱。
- 载波振荡器经包络发生器 AD1 输出，0.5 毫秒的触发时间和 6.3 秒的衰减时间是典型的铃声振幅包络。输出信号受演奏力度控制，使音色力度随演奏力度成比例变化。
- 通过加载于调制振荡器，触发和衰减时间与 AD1 相同的包络发生器 AD2，控制调制振荡器振幅随时间的变化，从而使调制振荡器对载波振荡器的频率调制随时间发生变化，达到声谱内容随时间变化的目的。

下面让我们根据上述制订的合成方案，通过 Nord Modular，按简化步骤完成 FM 合成铃声音色的合成工作。

二、获得静态声谱

获得静态声谱包括获得声源及对声谱进行修饰。就本例而言，主要是如何通过 FM 的方式获得声源。

执行 GP11^①做好系统准备；执行 GP15 关闭目前所有音色窗口；执行 GP12 新建一音色，目标声部：A。

步骤 1:

根据算法需要调用两个产生正弦波的振荡器，为节省资源，采用主振荡器与属振荡器的结合：

操作 A：执行 GP01 调用主振荡器 *MasterOsc*^②。

操作 B：执行 2 次 GP01，调用两个属振荡器 *OscSlvE*。自动名称为 *OscSlvE1*、*OscSlvE2*。按串型方式激活主振荡器对属振荡器的控制：

操作 C：执行 2 次 GP03 连线，启始端口：振荡器 *MasterOsc1* 灰色方形 *Slv* 输出；目标端口按串型方式分别为：振荡器 *OscSlvE1* 和 *OscSlvE2* 灰色圆形 *Mst* 输入。

设定调制振荡器与载波振荡器频率与主振荡器的比值：

操作 D：执行 2 次 GP05，分别将属振荡器 *OscSlvE1* 和 *OscSlvE2* 频率与主振荡器频率的比值设定为 7:1 和 5:1。

由于属振荡器与主振荡器频率比较高，为了演奏方便，我们将主振荡器的默认频率降低一个八度：

操作 E：执行 GP05，别将主振荡器 *MasterOsc1* 的默认频率设定为 164.8Hz (E3)。

通过调制振荡器对载波振荡器进行频率调制：

操作 F^③：执行 GP03 连线，启始端口：振荡器 *OscSlvE1* 红色方形音频输出；目标端口：振荡器 *OscSlvE2* 红色圆形音频输入 *FMA*。

设定调制深度：

① 有关编号为 GP# 的全局操作的具体步骤请参阅本书附录三。

② 使用斜体字表示的内容为 Nord Modular 中的模块名称或参数名称。

③ 为方便查找，我们将在未来步骤中有可能被重新执行的步骤编码上增加了方框标记。

操作 G: 执行 GP05, 别将振荡器 *OscSlvE 2* 的 FM 深度旋钮设定为 100。

调用音频输出模块, 按串型连接输出载波振荡器的信号:

操作 H: 执行 GP01 调用音频输出模块 *2 outputs*。

操作 I: 执行 GP03 连线, 起始端口: 振荡器 *OscSlvE2* 红色方形音频输出; 目标端口: 音频输出模块 *2 outputs1* 红色圆形音频输入 L。

操作 J: 执行 GP03 连线, 起始端口: 音频输出模块 *2 outputs1* 红色圆形音频输入 L; 目标端口: 音频输出模块 *2 outputs1* 红色圆形音频输入 R。

这时我们已经能够听到声音了, 通过音频输出模块 *2 outputs1* 上的哑音开关(默认状态为解除状态 **M**)可以控制声音的送出与否。

执行 GP16 保存当前编辑音色, 文件名: *01.pch。

这时, 各模块之间关系见图 5.2.02 FM 合成铃声音色步骤 1:

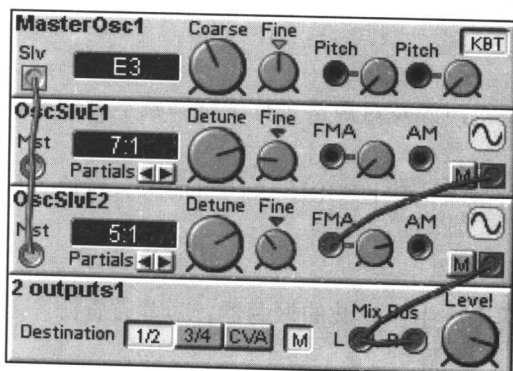


图 5.2.02 FM 合成铃声音色步骤 1

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: Bell_FM01.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

至此, 我们通过 FM 的方法, 获得了铃声音色的静态声谱, 根据算法, 我们需要进一步获得该音色的动态声谱变化。

三、获得动态声谱

本例中, 获得动态声谱包括获得音色力度随时间及演奏力度的变化和动态的声谱内容变化。

1. 获得音色力度随时间及演奏力度的变化

首先获得音色力度随时间的变化。

步骤 2:

调用包络发生器, 为振荡器施加振幅包络, 本例中调用了简单包络发生器:

操作 A: 执行 GP01 调用包络发生器 *AD-Env*, 自动名称为 *AD-Env1*。

根据算法设置包络发生器参数:

操作 B: 执行 2 次 GP05, 将包络发生器 *AD-Env1* 的触发时间参数 *A* 和衰减时间参数 *D* 分别设定为 0.5 毫秒和 6.3 秒。

调用键盘输入模块, 采集演奏信息:

操作 C: 执行 GP01 调用键盘输入模块 *Keyboard*。

为包络发生器施加逻辑触发信号:

操作 D: 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 黄色方形逻辑输出 *Gate*; 目标端口: 包络发生器 *AD-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

在通过包络发生器控制振荡器振幅包络之前, 需要将原来振荡器与音频输出模块的连接断开。

操作 E: 执行 GP04 去掉步骤 1 操作 I 中的连线。

通过包络发生器控制音色力度随时间的响应。

操作 F: 执行 GP03 连线, 起始端口: 振荡器 *OscSlvE2* 红色方形音频输出; 目标端口: 包络发生器 *AD-Env1* 红色圆形音频输入。

操作 G: 执行 GP03 连线, 起始端口: 包络发生器 *AD-Env1* 红色方形音频输出; 目标端口: 音频输出模块 *2 outputs 1* 红色圆形音频输入 *L*。

接下来获得音色力度随演奏力度的变化。

操作 H: 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Vel*; 目标端口: 包络发生器 *AD-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *02.pch。

这时, 各模块之间关系见图 5.2.03 FM 合成铃声音色步骤 2:

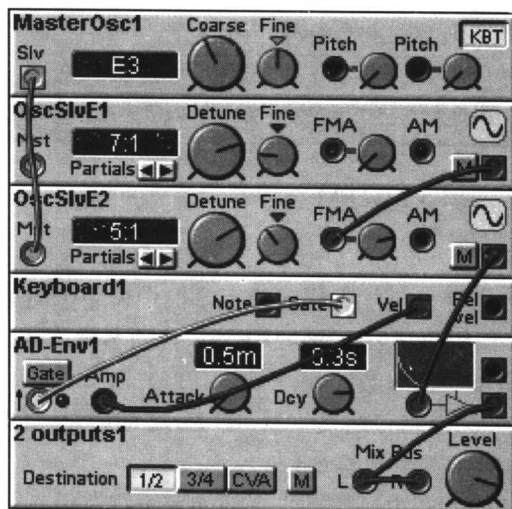


图 5.2.03 FM 合成铃声音色步骤 2

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: Bell_FM02.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

至此，我们已经可以通过 MIDI 键盘或编辑软件提供的键盘工具，实时演奏该音色，并获得了音色力度随时间和演奏力度的变化。根据算法，我们还需要获得该音色声谱内容随时间的变化。

2. 获得声谱内容随时间的变化

本例中通过对调制振荡器振幅的控制，达到获得声谱内容随时间变化的目的。获得调制振荡器振幅随时间变化的主要工具是包络发生器。

步骤 3:

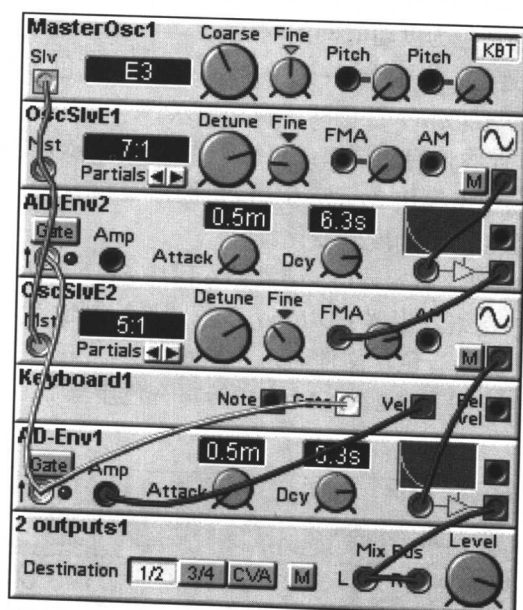


图 5.2.04 FM 合成铃声音色步骤 3

调用包络发生器，为振荡器施加振幅包络，本例中调用了简单包络发生器：

操作 A: 执行 GP01 调用包络发生器 AD-Env，自动名称为 AD-Env2。

根据图算法设置包络发生器参数：

操作 B: 执行 2 次 GP05，将包络发生器 AD-Env2 的触发时间参数 A 和衰减时间参数 D 分别设定为 0.5 毫秒和 6.3 秒。

采用从其它模块串联的方式为包络发生器施加逻辑触发信号：

操作 C: 执行 GP03 连线，起始端口：包络发生器 AD-Env1 黄色圆形逻辑输入 Gate；目标端口：包络发生器 AD-Env2 黄色圆形逻辑输入 Gate。

在通过包络发生器控制载波振荡器 FM 调制包络之前，需要将原来调制振荡器与载波振荡器的连接断开。

操作 D: 执行 GP04 去掉步骤 1 操作 F 中的连线。

通过包络发生器控制调制振荡器振幅随时间的响应:

操作 E: 执行 GP03 连线, 起始端口: 振荡器 *OscSlvE1* 红色方形音频输出; 目标端口: 包络发生器 *AD-Env2* 红色圆形音频输入。

对载波振荡器进行频率调制, 获得声谱内容随时间的变化:

操作 F: 执行 GP03 连线, 起始端口: 包络发生器 *AD-Env2* 红色方形音频输出; 目标端口: 振荡器 *OscSlvE2* 红色圆形音频输入 *FMA*。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *03.pch。

这时, 各模块之间关系见图 5.2.04 FM 合成铃声音色步骤 3:

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: Bell_FM03.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

至此, 我们通过 Nord Modular, 采用 FM 合成原理, 简化合成了铃声音色。

第二节 FM 合成木鼓音色

本节中, 我们将通过 FM 合成方法, 简化合成木鼓音色。

一、合成方案

本部分包括绘制算法框图及进行算法分析两方面内容。

1. 算法框图

根据木鼓音色的特点, 绘制简化的 FM 合成钟声音色的算法^①框图, 见图 5.2.05 FM 合成木鼓音色流程简图:

2. 算法分析

按照图 5.3.01 中信号流程, 我们对 FM 合成铃声音色的简化操作步骤流程进行以下分析:

- 调用产生正弦波的调制振荡器与载波振荡器, 将它们的频率比设定为 16:11。通过调制振荡器对载波振荡器进行 FM 调制, 调制深度为 84, 获得木鼓音色的基本特征声谱。
- 载波振荡器经包络发生器 AD1 输出, 4.6 毫秒的触发时间和 156 毫秒的衰减时间是典型的木鼓音色振幅包络。输出信号受演奏力度控制, 使音色力度随演奏力度成比例变化。
- 通过加载于调制振荡器, 触发和衰减时间为 0.5 毫秒和 51 毫秒的包络发生器 AD2, 控制调制振荡器振幅随时间的变化, 从而使调制振荡器对载波振荡器的频率调制随时间发生变化, 达到声谱内容随时间变化的目的。

^① 该算法是基于约翰·乔宁(John Chowning)的 FM 乐器设计之上, 根据 Nord Modular 的特点制定的。

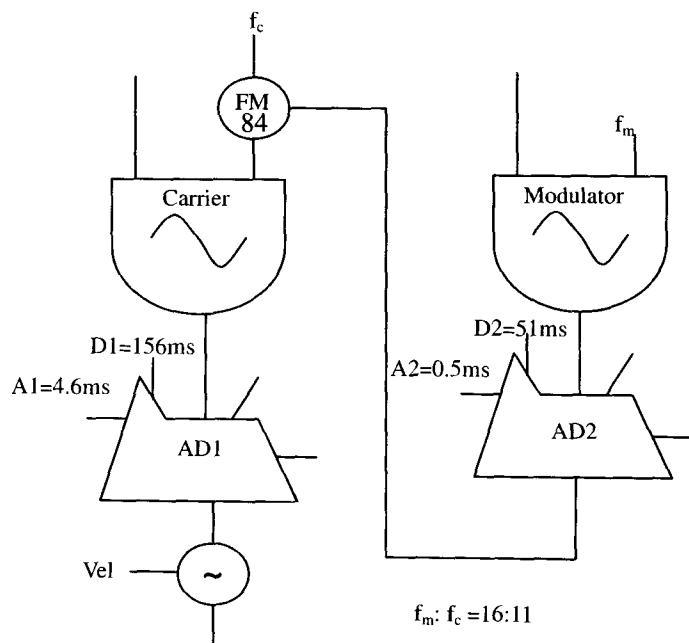


图 5.2.05 FM 合成木鼓音色流程简图

下面让我们根据上述制订的合成方案，通过 Nord Modular，按简化步骤完成 FM 合成木鼓音色的合成工作。

二、获得静态声谱

获得静态声谱包括获得声源及对声谱进行修饰。就本例而言，主要是如何通过 FM 的方式获得声源。

执行 GP11^①做好系统准备；执行 GP15 关闭目前所有音色窗口；执行 GP12 新建一音色，目标声部：A。

步骤 1：

根据算法需要调用两个产生正弦波的振荡器，为节省资源，采用主振荡器与属振荡器的结合：

操作 A：执行 GP01 调用主振荡器 *MasterOsc*^②。

操作 B：执行 2 次 GP01，调用两个属振荡器 *OscSlvE*。自动名称为 *OscSlvE1*、*OscSlvE2*。按串型方式激活主振荡器对属振荡器的控制：

操作 C：执行 2 次 GP03 连线，起始端口：振荡器 *MasterOsc1* 灰色方形 *Slv* 输出；目标端口按串型方式分别为：振荡器 *OscSlvE1* 和 *OscSlvE2* 灰色圆形 *Mst* 输入。设定调制振荡器与载波振荡器频率与主振荡器的比值：

操作 D：执行 2 次 GP05，分别将属振荡器 *OscSlvE1* 和 *OscSlvE2* 频率与主振荡器的比

① 有关编号为 GP# 的全局操作的具体步骤请参阅本书附录三。

② 使用斜体字表示的内容为 Nord Modular 中的模块名称或参数名称。

值设定为 16:1 和 11:1。

由于属振荡器与主振荡器频率比较高，为了演奏方便，我们将主振荡器的默认频率降低四个八度：

操作 E： 执行 GP05，别将主振荡器 *MasterOsc1* 的默认频率设定为 20.6Hz (E0)。

通过调制振荡器对载波振荡器进行频率调制：

操作 F^①： 执行 GP03 连线，起始端口：振荡器 *OscSlvE1* 红色方形音频输出；目标端口：振荡器 *OscSlvE2* 红色圆形音频输入 *FMA*。

设定调制深度：

操作 G： 执行 GP05，别将振荡器 *OscSlvE2* 的 FM 深度旋钮设定为 84。

调用音频输出模块，按串型连接输出载波振荡器的信号：

操作 H： 执行 GP01 调用音频输出模块 2 *outputs*。

操作 I： 执行 GP03 连线，起始端口：振荡器 *OscSlvE2* 红色方形音频输出；目标端口：音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 *L*。

操作 J： 执行 GP03 连线，起始端口：音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 *L*；目标端口：音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 *R*。

这时我们已经能够听到声音了，通过音频输出模块 2 *outputs1* 上的哑音开关(默认状态为解除状态 **M**)可以控制声音的送出与否。

执行 GP16 保存当前编辑音色，文件名：*01.pch。

这时，各模块之间关系见图 5.2.06 FM 合成木鼓音色步骤 1：

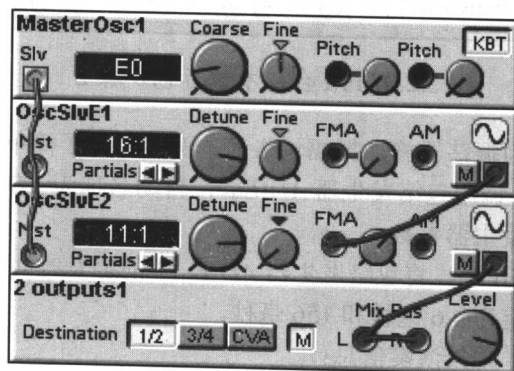


图 5.2.06 FM 合成木鼓音色步骤 1

读者也可以通过执行 GP13，文件名：WoodDrum01.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

至此，我们通过 FM 的方法，获得了木鼓音色的静态声谱，根据算法，我们需要进一步获得该音色的动态声谱变化。

① 为方便查找，我们将在未来步骤中有可能被重新执行的步骤编码上增加了方框标记。

三、获得动态声谱

本例中，获得动态声谱包括获得音色力度随时间及演奏力度的变化和动态的声谱内容变化。

1. 获得音色力度随时间及演奏力度的变化

首先获得音色力度随时间的变化。

步骤 2:

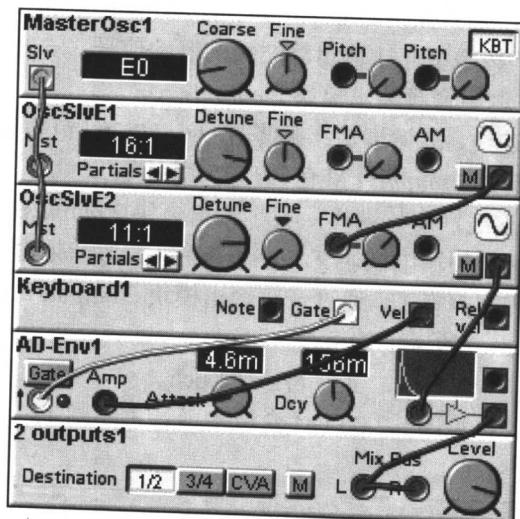


图 5.2.07 FM 合成木鼓音色步骤 2

调用包络发生器，为振荡器施加振幅包络，本例中调用了简单包络发生器：

操作 A: 执行 GP01 调用包络发生器 *AD-Env*，自动名称为 *AD-Env1*。

根据算法设置包络发生器参数：

操作 B: 执行 2 次 GP05，将包络发生器 *AD-Env1* 的触发时间参数 *A* 和衰减时间参数 *D* 分别设定为 4.6 毫秒和 156 毫秒。

调用键盘输入模块，采集演奏信息：

操作 C: 执行 GP01 调用键盘输入模块 *Keyboard*。

为包络发生器施加逻辑触发信号：

操作 D: 执行 GP03 连线，起始端口：键盘输入模块 *Keyboard1* 黄色方形逻辑输出 *Gate*；
目标端口：包络发生器 *AD-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

在通过包络发生器控制振荡器振幅包络之前，需要将原来振荡器与音频输出模块的连接断开。

操作 E: 执行 GP04 去掉步骤 1 操作 I 中的连线。

通过包络发生器控制音色力度随时间的响应。

操作 F: 执行 GP03 连线，起始端口：振荡器 *OscSlvE2* 红色方形音频输出；目标端口：包络发生器 *AD-Env1* 红色圆形音频输入。

操作 G: 执行 GP03 连线, 起始端口: 包络发生器 *AD-Env1* 红色方形音频输出; 目标端口: 音频输出模块 2 *outputs 1* 红色圆形音频输入 *L*。

接下来获得音色力度随演奏力度的变化。

操作 H: 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Vel*; 目标端口: 包络发生器 *AD-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *02.pch。

这时, 各模块之间关系见图 5.2.07 FM 合成木鼓音色步骤 2:

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: WoodDrum02.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

至此, 我们已经可以通过 MIDI 键盘或编辑软件提供的键盘工具, 实时演奏该音色, 并获得了音色力度随时间和演奏力度的变化。根据算法, 我们还需要获得该音色声谱内容随时间的变化。

2. 获得声谱内容随时间的变化

本例中通过对调制振荡器振幅的控制, 达到获得声谱内容随时间变化的目的。获得调制振荡器振幅随时间变化的主要工具是包络发生器。

步骤 3:

调用包络发生器, 为振荡器施加振幅包络, 本例中调用了简单包络发生器:

操作 A: 执行 GP01 调用包络发生器 *AD-Env*, 自动名称为 *AD-Env2*。

根据算法设置包络发生器参数:

操作 B: 执行 2 次 GP05, 将包络发生器 *AD-Env2* 的触发时间参数 *A* 和衰减时间参数 *D* 分别设定为 0.5 毫秒和 51 毫秒。

采用从其它模块串联的方式为包络发生器施加逻辑触发信号:

操作 C: 执行 GP03 连线, 起始端口: 包络发生器 *AD-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*; 目标端口: 包络发生器 *AD-Env2* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

在通过包络发生器控制载波振荡器 FM 调制包络之前, 需要将原来调制振荡器与载波振荡器的连接断开。

操作 D: 执行 GP04 去掉步骤 1 操作 F 中的连线。

通过包络发生器控制调制振荡器振幅随时间的响应:

操作 E: 执行 GP03 连线, 起始端口: 振荡器 *OscSlvE1* 红色方形音频输出; 目标端口: 包络发生器 *AD-Env2* 红色圆形音频输入。

对载波振荡器进行频率调制, 获得声谱内容随时间的变化:

操作 F: 执行 GP03 连线, 起始端口: 包络发生器 *AD-Env2* 红色方形音频输出; 目标端口: 振荡器 *OscSlvE2* 红色圆形音频输入 *FMA*。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *03.pch。

这时, 各模块之间关系见图 5.2.08 FM 合成木鼓音色步骤 3:

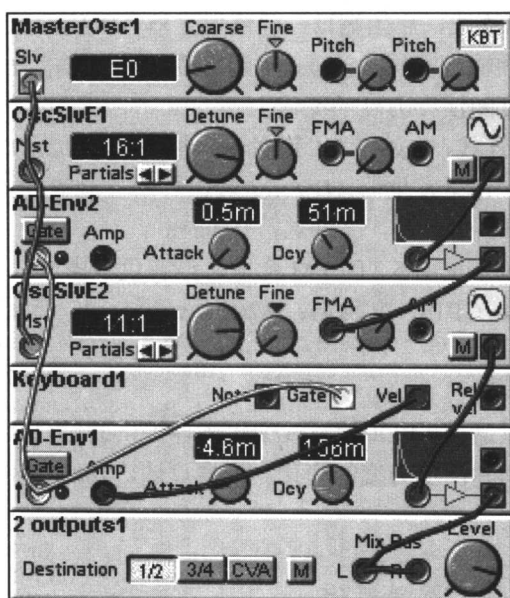


图 5.2.08 FM 合成木鼓音色步骤 3

读者也可以通过执行 GP13，文件名：WoodDrum03.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

至此，我们通过 Nord Modular，采用 FM 合成原理，简化合成了木鼓音色。

练习题：

- 一. 比较观察调制振荡器通过包络发生器前后，音色波形及声谱变化的异同。
- 二. 比较观察本讲第二节木鼓音色与本章第 1 讲第二节军鼓音色的波形和声谱差异。

第3讲 FM合成(之三)

第一节 FM合成铜管音色

本节中，我们将通过 FM 合成方法，简化合成铜管音色。

一、合成方案

本部分包括绘制算法框图及进行算法分析两方面内容。

1. 算法框图

根据铜管音色的特点，绘制简化的 FM 合成铜管音色的算法^①框图，见图 5.3.01 FM 合成铜管音色流程简图：

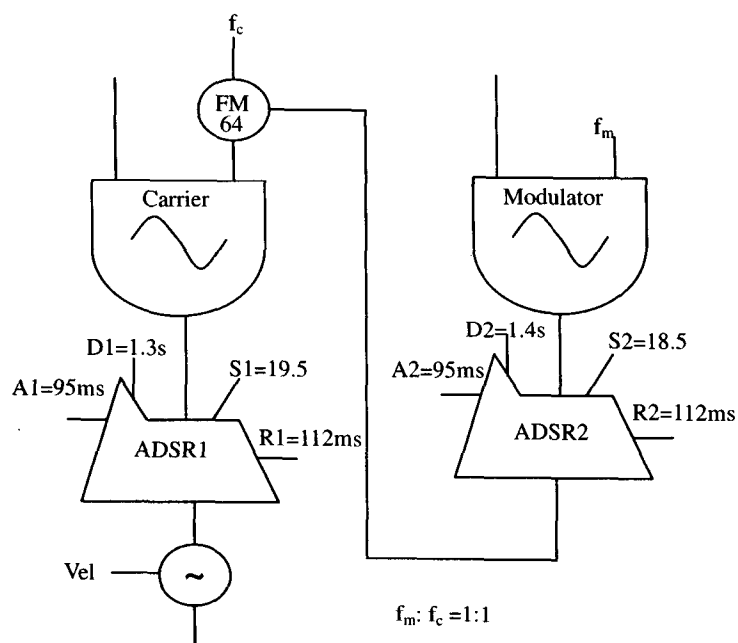


图 5.3.01 FM 合成铜管音色流程简图

2. 算法分析

按照图 5.3.01 中信号流程，我们对 FM 合成铜管音色的简化操作步骤流程进行以下分析：

^① 该算法是基于约翰·乔宁(John Chowning)的 FM 乐器设计之上，根据 Nord Modular 的特点制定的。

- 调用产生正弦波的调制振荡器与载波振荡器，将它们的频率比设定为 1:1。通过调制振荡器对载波振荡器进行 FM 调制，调制深度为 64，获得铜管音色的基本特征声谱。
- 载波振荡器经包络发生器 ADSR1 输出，95 毫秒的触发时间、和 1.3 秒的衰减时间、19.5 的延留取值及 112 毫秒的释放时间是典型的铜管振幅包络。输出信号受演奏力度控制，使音色力度随演奏力度成比例变化。
- 通过加载于调制振荡器，触发和衰减时间与 ADSR1 基本相同的包络发生器 ADSR2，控制调制振荡器振幅随时间的变化，从而使调制振荡器对载波振荡器的频率调制随时间发生变化，达到声谱内容随时间变化的目的。

下面让我们根据上述制订的合成方案，通过 Nord Modular，按简化步骤完成 FM 合成铜管音色的合成工作。

二、获得静态声谱

获得静态声谱包括获得声源及对声谱进行修饰。就本例而言，主要是如何通过 FM 的方式获得声源。

执行 GP11^①做好系统准备；执行 GP15 关闭目前所有音色窗口；执行 GP12 新建一音色，目标声部：A。

步骤 1：

根据算法需要调用两个产生正弦波的振荡器，为节省资源，采用主振荡器与属振荡器的结合：

操作 A：执行 GP01 调用主振荡器 *MasterOsc*^②。

操作 B：执行 2 次 GP01，调用两个属振荡器 *OscSlvE*。自动名称为 *OscSlvE1*、*OscSlvE2*。按串型方式激活主振荡器对属振荡器的控制：

操作 C：执行 2 次 GP03 连线，启始端口：振荡器 *MasterOsc1* 灰色方形 *Slv* 输出；目标端口按串型方式分别为：振荡器 *OscSlvE1* 和 *OscSlvE2* 灰色圆形 *Mst* 输入。

根据算法调制振荡器、载波振荡器的频率比为 1，Nord Modular 中被调用属振荡器与主振荡器的默认频率比就是 1，因此无需另行设定。下面可直接通过调制振荡器对载波振荡器进行频率调制：

操作 D^③：执行 GP03 连线，启始端口：振荡器 *OscSlvE1* 红色方形音频输出；目标端口：振荡器 *OscSlvE2* 红色圆形音频输入 *FMA*。

设定调制深度：

操作 E：执行 GP05，别将振荡器 *OscSlvE2* 的 FM 深度旋钮设定为 64。

调用音频输出模块，按串型连接输出载波振荡器的信号：

操作 F：执行 GP01 调用音频输出模块 2 *outputs*。

① 有关编号为 GP# 的全局操作的具体步骤请参阅本书附录三。

② 使用斜体字表示的内容为 Nord Modular 中的模块名称或参数名称。

③ 为方便查找，我们将在未来步骤中有可能被重新执行的步骤编码上增加了方框标记。

操作 G: 执行 GP03 连线, 起始端口: 振荡器 *OscSlvE2* 红色方形音频输出; 目标端口: 音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 L。

操作 H: 执行 GP03 连线, 起始端口: 音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 L; 目标端口: 音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 R。

这时我们已经能够听到声音了, 通过音频输出模块 2 *outputs1* 上的哑音开关(默认状态为解除状态 **M**)可以控制声音的送出与否。

执行 GP16 保存当前编辑音色, 文件名: *01.pch。

这时, 各模块之间关系见图 5.3.02 FM 合成铜管音色步骤 1:

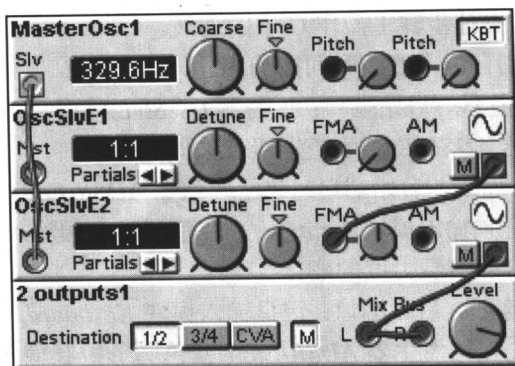


图 5.3.02 FM 合成铜管音色步骤 1

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: Brass_FM01.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

至此, 我们通过 FM 的方法, 获得了铜管音色的静态声谱, 根据算法, 我们需要进一步获得该音色的动态声谱变化。

三、获得动态声谱

本例中, 获得动态声谱包括获得音色力度随时间及演奏力度的变化和动态的声谱内容变化。

1. 获得音色力度随时间及演奏力度的变化

首先获得音色力度随时间的变化。

步骤 2:

调用包络发生器, 为振荡器施加振幅包络, 本例中调用了标准包络发生器:

操作 A: 执行 GP01 调用包络发生器 *ADSR-Env*, 自动名称为 *ADSR-Env1*。

根据算法设置包络发生器参数:

操作 B: 执行 4 次 GP05, 将包络发生器 *ADSR-Env1* 的参数 A、D、S、R 分别设定为 95 毫秒、1.3 秒、19.5、112 毫秒。

设定包络发生器的衰减曲线为线性曲线:

操作 C: 点击包络发生器 *ADSR-Env1* 上的按钮  (默认状态), 使其变为这个状态: .

调用键盘输入模块, 采集演奏信息:

操作 D: 执行 GP01 调用键盘输入模块 *Keyboard*。

为包络发生器施加逻辑触发信号:

操作 E: 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 黄色方形逻辑输出 *Gate*; 目标端口: 包络发生器 *ADSR-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

在通过包络发生器控制振荡器振幅包络之前, 需要将原来振荡器与音频输出模块的连接断开。

操作 F: 执行 GP04 去掉步骤 1 操作 G 中的连线。

通过包络发生器控制音色力度随时间的响应。

操作 G: 执行 GP03 连线, 起始端口: 振荡器 *OscSlvE2* 红色方形音频输出; 目标端口: 包络发生器 *ADSR-Env1* 红色圆形音频输入。

操作 H: 执行 GP03 连线, 起始端口: 包络发生器 *ADSR-Env1* 红色方形音频输出; 目标端口: 音频输出模块 *2 outputs 1* 红色圆形音频输入 L。

接下来获得音色力度随演奏力度的变化。

操作 I: 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Vel*; 目标端口: 包络发生器 *ADSR-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *02.pch。

这时, 各模块之间关系见图 5.3.03 FM 合成铜管音色步骤 2:

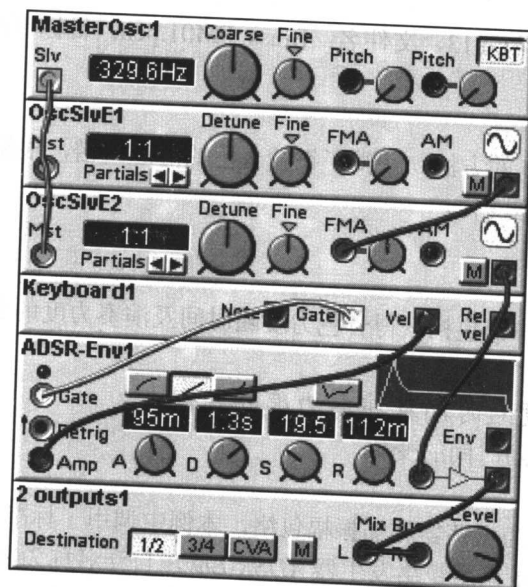


图 5.3.03 FM 合成铜管音色步骤 2

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: Brass_FM02.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

至此,我们已经可以通过 MIDI 键盘或编辑软件提供的键盘工具,实时演奏该音色,并获得了音色力度随时间和演奏力度的变化。根据算法,我们还需要获得该音色声谱内容随时间的变化。

2. 获得声谱内容随时间的变化

本例中通过对调制振荡器振幅的控制,达到获得声谱内容随时间变化的目的。获得调制振荡器振幅随时间变化的主要工具是包络发生器。

步骤 3:

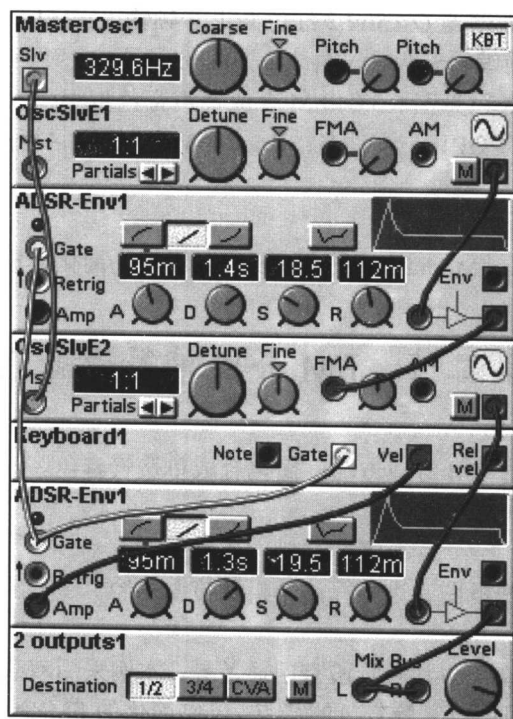


图 5.3.04 FM 合成铜管音色步骤 3

调用包络发生器,为振荡器施加振幅包络,本例中调用了标准包络发生器:

操作 A: 执行 GP01 调用包络发生器 ASRD-Env, 自动名称为 ADSR-Env2。

根据图算法设置包络发生器参数:

操作 B: 执行 4 次 GP05, 将包络发生器 ADSR-Env2 的参数 A、D、S、R 分别设定为 95 毫秒、1.4 秒、18.5、112 毫秒。

设定包络发生器的衰减曲线为线性曲线:

操作 C: 点击包络发生器 ADSR-Env2 上的按钮 (默认状态), 使其变为这个状态: 。

采用从其它模块串联的方式为包络发生器施加逻辑触发信号:

操作 D: 执行 GP03 连线, 启始端口: 包络发生器 *ADSR-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*;

目标端口: 包络发生器 *ADSR-Env2* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

在通过包络发生器控制载波振荡器 FM 调制包络之前, 需要将原来调制振荡器与载波振荡器的连接断开。

操作 E: 执行 GP04 去掉步骤 1 操作 D 中的连线。

通过包络发生器控制调制振荡器振幅随时间的响应:

操作 F: 执行 GP03 连线, 启始端口: 振荡器 *OscSlvE1* 红色方形音频输出; 目标端口:

包络发生器 *ADSR-Env2* 红色圆形音频输入。

对载波振荡器进行频率调制, 获得声谱内容随时间的变化:

操作 G: 执行 GP03 连线, 启始端口: 包络发生器 *ADSR-Env2* 红色方形音频输出; 目

标端口: 振荡器 *OscSlvE2* 红色圆形音频输入 *FMA*。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *03.pch。

这时, 各模块之间关系见图 5.3.04 FM 合成铃声音色步骤 3:

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: Brass_FM03.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

至此, 我们通过 Nord Modular, 采用 FM 合成原理, 简化合成了铜管音色。

第二节 FM 合成单簧管音色

本节中, 我们将通过 FM 合成方法, 简化合成单簧管音色。

一、合成方案

本部分包括绘制算法框图及进行算法分析两方面内容。

1. 算法框图

单簧管音头阶段的音色与其它阶段有明显差异, 本例采用双载波振荡器的方法模拟单簧管音色的这一特质。根据单簧管音色的特点, 绘制简化的 FM 合成单簧管音色的算法^①框图, 见图 5.3.05 FM 合成单簧管音色流程简图:

2. 算法分析

按照图 5.3.05 中信号流程, 我们对 FM 合成单簧管音色的简化操作步骤流程进行以下分析:

- 调用产生正弦波的调制振荡器与第一个载波振荡器, 将它们的频率比设定为 3:2。通过调制振荡器对第一个载波振荡器进行 FM 调制, 调制深度为 45, 获得单簧管音色的基本特征声谱。
- 第一个载波振荡器经包络发生器 ADSR1 输出, 64 毫秒的触发时间、和 0.5 毫秒的衰减时间、64 的延留取值及 43 毫秒的释放时间是典型的单簧管振幅包络。输

^① 该算法是基于约翰·穆恩宁(John Chowning)的 FM 乐器设计之上, 根据 Nord Modular 的特点制定的。

出信号受演奏力度控制，使音色力度随演奏力度成比例变化。

- 调用产生正弦波的第二个载波振荡器，通过加载于调制振荡器，触发和衰减时间分别为 46 毫秒和 367 毫秒的包络发生器 AD，控制调制振荡器振幅随时间的变化，从而使调制振荡器对第二个载波振荡器的频率调制随时间产生变化，达到声谱内容随时间变化的目的。
- 混合输出第一个载波振荡器和第二个载波振荡器的信号。

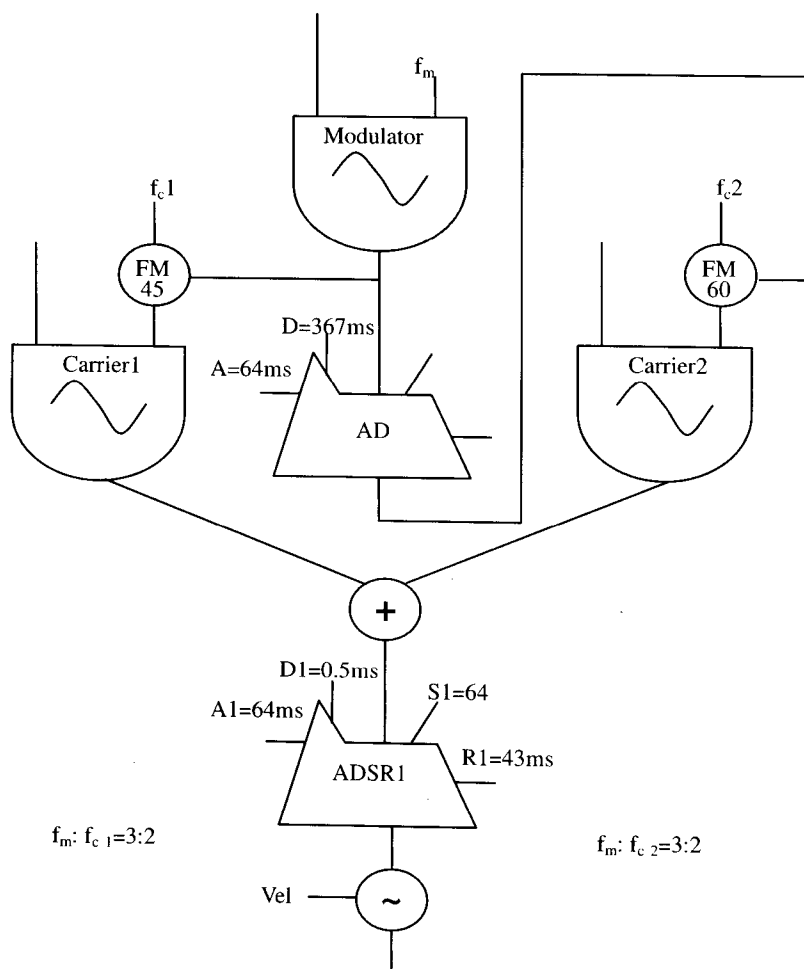


图 5.3.05 FM 合成单簧管音色流程简图

下面让我们根据上述制订的合成方案，通过 Nord Modular，按简化步骤完成 FM 合成单簧管音色的合成工作。

二、获得静态声谱

获得静态声谱包括获得声源及对声谱进行修饰。就本例而言，主要是如何通过 FM 的

方式获得声源。

执行 GP11^①做好系统准备；执行 GP15 关闭目前所有音色窗口；执行 GP12 新建一音色，目标声部：A。

步骤 1：

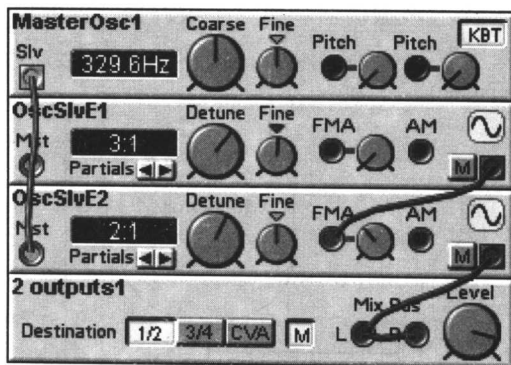


图 5.3.06 FM 合成单簧管音色步骤 1

根据算法需要调用两个产生正弦波的振荡器，为节省资源，采用主振荡器与属振荡器的结合：

操作 A：执行 GP01 调用主振荡器 *MasterOsc*^②。

操作 B：执行 2 次 GP01，调用两个属振荡器 *OscSlvE*。自动名称为 *OscSlvE1*、*OscSlvE2*。按串型方式激活主振荡器对属振荡器的控制：

操作 C：执行 2 次 GP03 连线，起始端口：振荡器 *MasterOsc1* 灰色方形 *Slv* 输出；目标端口按串型方式分别为：振荡器 *OscSlvE1* 和 *OscSlvE2* 灰色圆形 *Mst* 输入。设定调制振荡器与载波振荡器频率与主振荡器的比值：

操作 D：执行 2 次 GP05，分别将属振荡器 *OscSlvE1* 和 *OscSlvE2* 频率与主振荡器的比值都设定为 3:1 和 2:1。

通过调制振荡器对载波振荡器进行频率调制：

操作 E：执行 GP03 连线，起始端口：振荡器 *OscSlvE1* 红色方形音频输出；目标端口：振荡器 *OscSlvE2* 红色圆形音频输入 *FMA*。

设定调制深度：

操作 F：执行 GP05，别将振荡器 *OscSlvE2* 的 FM 深度旋钮设定为 45。

调用音频输出模块，按串型连接输出载波振荡器的信号：

操作 G：执行 GP01 调用音频输出模块 *2 outputs*。

操作 H^③：执行 GP03 连线，起始端口：振荡器 *OscSlvE2* 红色方形音频输出；目标端口：音频输出模块 *2 outputs1* 红色圆形音频输入 *L*。

操作 I：执行 GP03 连线，起始端口：音频输出模块 *2 outputs1* 红色圆形音频输入 *L*；

① 有关编号为 GP# 的全局操作的具体步骤请参阅本书附录三。

② 使用斜体字表示的内容为 Nord Modular 中的模块名称或参数名称。

③ 为方便查找，我们将在未来步骤中有可能被重新执行的步骤编码上增加了方框标记。

目标端口：音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 *R*。

这时我们已经能够听到声音了，通过音频输出模块 2 *outputs1* 上的哑音开关(默认状态为解除状态)可以控制声音的送出与否。

执行 GP16 保存当前编辑音色，文件名：*01.pch。

这时，各模块之间关系见图 5.3.06 FM 合成单簧管音色步骤 1：

读者也可以通过执行 GP13，文件名：Clarinet01.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

至此，我们通过 FM 的方法，获得了单簧管音色的静态声谱，根据算法，我们需要进一步获得该音色的动态声谱变化。

三、获得动态声谱

本例中，获得动态声谱包括获得音色力度随时间及演奏力度的变化和动态的声谱内容变化。

1. 获得音色力度随时间及演奏力度的变化

首先获得音色力度随时间的变化。

步骤 2：

调用包络发生器，为振荡器施加振幅包络，本例中调用了标准包络发生器：

操作 A：执行 GP01 调用包络发生器 *ADSR-Env1*，自动名称为 *ADSR-Env1*。

根据算法设置包络发生器参数：

操作 B：执行 4 次 GP05，将包络发生器 *ADSR-Env1* 的参数 A、D、S、R 分别设定为 64 毫秒、0.5 毫秒、64、43 毫秒。

设定包络发生器的衰减曲线为指数型曲线：

操作 C：点击包络发生器 *ADSR-Env1* 上的按钮(默认状态)，使其变为这个状态：.

调用键盘输入模块，采集演奏信息：

操作 D：执行 GP01 调用键盘输入模块 *Keyboard*。

为包络发生器施加逻辑触发信号：

操作 E：执行 GP03 连线，起始端口：键盘输入模块 *Keyboard1* 黄色方形逻辑输出 *Gate*；
目标端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

在通过包络发生器控制振荡器振幅包络之前，需要将原来振荡器与音频输出模块的连接断开。

操作 F：执行 GP04 去掉步骤 1 操作 H 中的连线。

通过包络发生器控制音色力度随时间的响应。

操作 G：执行 GP03 连线，起始端口：振荡器 *OscSlvE2* 红色方形音频输出；目标端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 红色圆形音频输入。

操作 H：执行 GP03 连线，起始端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 红色方形音频输出；目标端口：音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 *L*。

接下来获得音色力度随演奏力度的变化。

操作 I：执行 GP03 连线，起始端口：键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Vel*；

目标端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：*02.pch。

这时，各模块之间关系见图 5.3.07 FM 合成单簧管音色步骤 2：

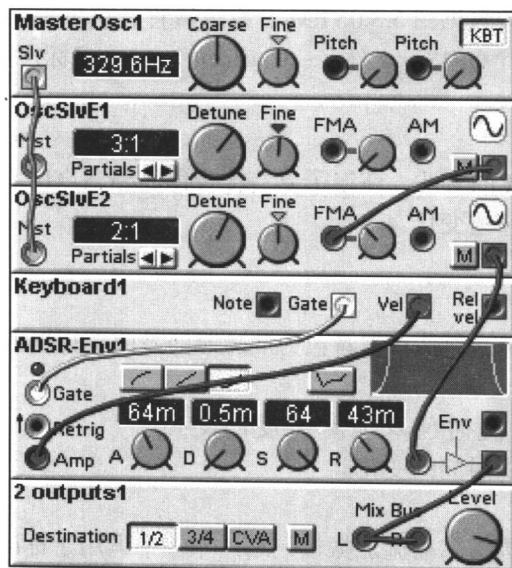


图 5.3.07 FM 合成单簧管音色步骤 2

读者也可以通过执行 GP13，文件名：Clarinet02.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

至此，我们已经可以通过 MIDI 键盘或编辑软件提供的键盘工具，实时演奏该音色，并获得了音色力度随时间和演奏力度的变化。根据算法，我们还需要获得该音色声谱内容随时间的变化。

2. 获得声谱内容随时间的变化

本例中通过调用第二个载波振荡器，并通过对调制振荡器振幅的控制，达到获得声谱内容随时间变化的目的。

步骤 3：

调用第二个载波振荡器：

操作 A：执行 GP01 调用属振荡器 *OscSlvE*。自动名称为 *OscSlvE3*。

设置第二个载波振荡器频率与主振荡器的频率比：

操作 B：执行 GP05，将属振荡器 *OscSlvE3* 频率与主振荡器的比值设定为 2:1。

以串型方式获得主振荡器对第二个载波振荡器的控制：

操作 C：执行 GP03 连线，起始端口：属振荡器 *OscSlvE 2* 灰色圆形 *Mst* 输入；目标端口：属振荡器 *OscSlvE3* 灰色圆形 *Mst* 输入。

获得调制振荡器振幅随时间变化的主要工具是包络发生器。调用包络发生器，为振荡器施加振幅包络，本例中调用了简单包络发生器：

操作 D: 执行 GP01 调用包络发生器 *AD-Env*。

根据图算法设置包络发生器参数:

操作 E: 执行 2 次 GP05, 将包络发生器 *AD-Env1* 的参数 *A*、*D* 分别设定为 64 毫秒、367 毫秒。

采用从其它模块串联的方式为包络发生器施加逻辑触发信号:

操作 F: 执行 GP03 连线, 起始端口: 包络发生器 *ADSR-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*;
目标端口: 包络发生器 *AD-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

通过包络发生器控制调制振荡器振幅随时间的响应:

操作 G: 执行 GP03 连线, 起始端口: 振荡器 *OscSlvE1* 红色方形音频输出; 目标端口: 包络发生器 *AD-Env1* 红色圆形音频输入。

设置第二个载波振荡器的 FM 深度:

操作 H: 执行 GP05, 别将振荡器 *OscSlvE3* 的 FM 深度旋钮设定为 60。

对载波振荡器进行频率调制, 获得声谱内容随时间的变化:

操作 I: 执行 GP03 连线, 起始端口: 包络发生器 *AD-Env1* 红色方形音频输出; 目标端口: 振荡器 *OscSlvE3* 红色圆形音频输入 *FMA*。

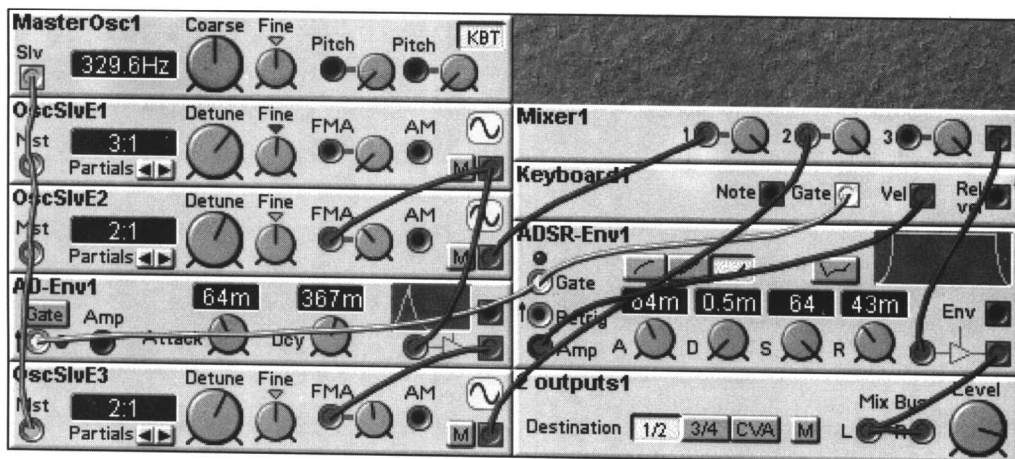


图 5.3.08 FM 合成单簧管音色步骤 3

两个载波振荡器的信号需要相加后输出, 因此需要调用混合器模块:

操作 J: 执行 GP01 调用混合器 *3 inputs mixer*。

在通过混合器将两个载波振荡器信号相加之前, 需要将振荡器 *OscSlvE2* 原来与音频输出模块的连接断开:

操作 K: 执行 GP04 去掉步骤 2 操作 G 中的连线。

经混合器输出两个载波振荡器的信号:

操作 L: 执行 2 次 GP03 连线, 起始端口分别为: 振荡器 *OscSlvE2* 和 *OscSlvE3* 红色方形音频输出; 目标端口分别为: 混合器 *Mixer1* 红色圆形音频输入 1 和 2。

操作 M: 执行 GP03 连线, 起始端口: 混合器 *Mixer1* 红色方形音频输出; 目标端口: 包络发生器 *ADSR-Env1* 红色圆形音频输入。

执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：*03.pch。

这时，各模块之间关系见图 5.3.08 FM 合成单簧管音色步骤 3：

读者也可以通过执行 GP13，文件名：Clarinet03.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

至此，我们通过 Nord Modular，采用 FM 合成原理，简化合成了单簧管音色。

至此，我们按照 FM 合成原理，完成了“水滴声”、军鼓、铃声、木鼓、铜管与单簧管共六个音色，简化的声音合成任务。以实践的方式体会了 FM 合成中，获得静态声谱、动态声谱的方法。下面让我们学习声音合成与制作实践中的其它合成方法。

练习题：

- 一. 比较观察第四章第 6 讲减法合成铜管音色与本讲第一节铜管音色的波形及声谱差异。
- 二. 比较观察第四章第 1 讲双簧管音色与本讲第二节单簧管音色的波形及声谱差异。

第六章 其它合成方法

本章中,我们将了解有关振幅调制(AM)、环型调制(RM)、共振峰合成(Formant Synthesis)以及声码器(Vocoder)的相关基础知识,并通过每一种合成方法,配合相应的工具,各完成一个音色的合成实践^①。同时,对波形塑型(Waveshaping)、颗粒合成(Granular Synthesis)以及物理模型(Physical Modeling)等合成方法进行简要的介绍。

第 1 讲 振幅调制合成铃声音色

振幅调制(Amplitude Modulation 缩写为 AM)的机理与频率调制相仿,最大的不同在于被调制的信号。频率调制中,被调制信号是频率;振幅调制中,顾名思义,被调制信号是振幅。在声音合成系统中,完成振幅调制任务与 FM 中一样,也是主要依靠振荡器,且有调制振荡器与载波振荡器之分,见图 6.1.01 AM 原理示意图:

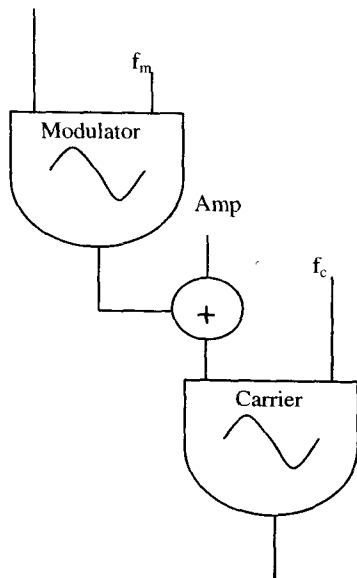


图 6.1.01 AM 原理示意图

^① 与前一章《FM 合成》中的音色合成实践相同,本章中音色的合成步骤也是简化的合成步骤。



图 6.1.02 Nord Modular AM 示意图

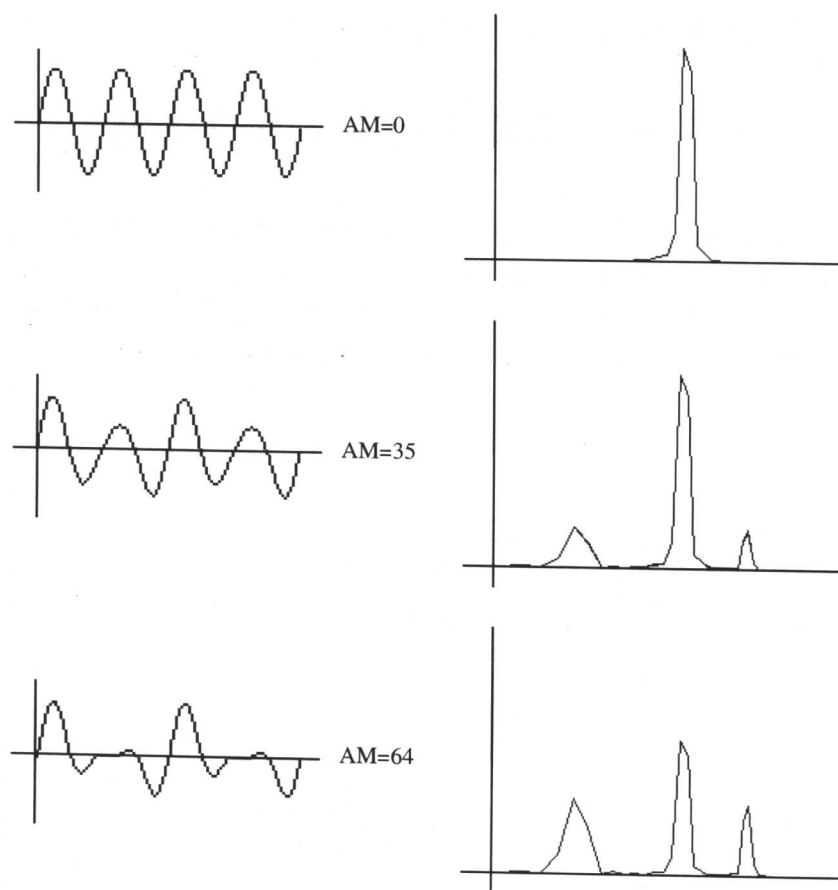


图 6.1.03 不同调制深度 AM 声音波形及声谱包络示意图

如图 6.1.01 所示，调制振荡器的信号与载波振荡器的振幅 Amp 相加，对载波振荡器进行振幅调制。在 AM 中，表示调制振荡器与载波振荡器频率参数的方法与 FM 中相同。在 Nord Modular 中，实现振幅调制的方法之一与 FM 很相像，不同就是将调制振荡器的输

出端送入载波振荡器的 AM 端子,而不是 FM 端子,见图 6.1.02 Nord Modular AM 示意图:

图 6.1.02 中,受主振荡器控制的属振荡器 OscSlvE1 作为调制振荡器,其输出(红色方形音频输出)信号被送入同样受主振荡器控制的,作为载波振荡器的属振荡器 OscSlvE2 的 AM 输入(红色圆形音频输入)中,对载波振荡器 OscSlvE2 进行振幅调制。

振幅调制对结果声谱的影响主要取决于两个方面的因素:一方面是调制振荡器与载波振荡器的频率关系;另一方面是调制深度的大小。让我们通过实例看一看振幅调制对结果声谱的影响,见图 6.1.03 Nord Modular 不同调制深度 AM 声音波形及声谱包络示意图:

图 6.1.03 所示为通过 Nord Modular 实现的 AM 声音,其中调制振荡器与载波振荡器皆为正弦振荡器,频率比为 1 比 2 (调制振荡器频率为载波振荡器频率的一半);当调制深度分别为 0、35 和 64 的时候,结果声音的波形(图左)及声谱包络(图右)示意图。由图可见,当调制深度为 0,即无 AM 调制时,结果声音的波形就是一个正弦波形,图右显示的声谱包络为典型正弦波的声谱包络曲线;当调制深度不断增加时,波形越来越复杂,相应的声谱包络图中,基频占有的声学能量呈递减,而由于 AM 调制带来的两个边带分音所占的声学能量呈递增趋势。

上例中调制振荡器与载波振荡器都是正弦波振荡器,一般情况下,参与 AM 合成的声音波形都是简单波形,如果采用复杂波形作为载波振荡器的内容,或复杂波形作为调制信号,带来结果声音的声谱也复杂得多。

了解了振幅调制的基本原理以后,下面让我们利用 AM 合成方法,合成铃声音色。

一、合成方案

本部分包括绘制算法框图及进行算法分析两方面内容。

1. 算法框图

根据铃声音色的特点,绘制简化的 AM 合成铃声音色的算法框图,见图 6.1.04 AM 合成铃声音色流程简图:

2. 算法分析

按照图 6.1.04 中信号流程,我们对 AM 合成铃声音色的简化操作步骤流程进行以下分析:

- 调用三个产生正弦波的振荡器,频率比为 1:1.4983:2.2449,作为铃声的声源振荡器。
- 通过 Osc1 对 Osc2 进行振幅调制,通过 Osc2 对 Osc3 进行振幅调制,获得含较丰富分音内容的铃声音色的静态声谱。
- 振荡器 Osc3 的信号经触发时间为 2.1 毫秒,衰减时间为 4.4 秒的包络发生器后,呈现出铃声的振幅包络响应;输出信号受演奏力度影响,随演奏力度的变化成比例变化。

图 6.1.04 AM 合成铃声音色流程简图

下面让我们根据上述制订的合成方案,通过 Nord Modular,按简化步骤完成 AM 合成铃声音色的合成工作。

二、获得静态声谱

获得静态声谱包括获得声源及对声谱进行修饰。就本例而言，主要任务是获得声源。

执行 GP11^①做好系统准备；执行 GP15 关闭目前所有音色窗口；执行 GP12 新建一音色，目标声部：A。

步骤 1:

根据算法, 采用较节省资源的主振荡器与属振荡器的组合:

操作 A: 执行 GP01 调用主振荡器 *MasterOsc*^②。

操作 B: 执行 3 次 GP01, 分别调用 3 个属振荡器 *OscSlvE*。

设置属振荡器的频率参数:

① 有关编号为 GP# 的全局操作的具体步骤请参阅本书阅读指南。

② 使用斜体字表示的内容为 Nord Modular 中的模块名称或参数名称。

操作 C: 执行 2 次 GP05, 分别将属振荡器 *OscSlvE2* 和 *OscSlvE3* 的频率与主振荡器的比值设定为 1.4983 和 2.2449。

按串型方式激活主振荡器对各属振荡器的控制:

操作 D: 执行 3 次 GP03 连线, 启始端口: 振荡器 *MasterOsc1* 灰色方形 *Slv* 输出; 目标端口按串型方式分别为: 振荡器 *OscSlvE1* 至 *OscSlvE3* 灰色圆形 *Mst* 输入。

以 *OscSlvE1* 为调制振荡器, 对 *OscSlvE2* 进行振幅调制:

操作 E: 执行 GP03 连线, 启始端口: 振荡器 *OscSlvE1* 红色方形音频输出; 目标端口: 振荡器 *OscSlvE2* 红色圆形音频输入 *AM*。

以 *OscSlvE2* 为调制振荡器, 对 *OscSlvE3* 进行振幅调制:

操作 F: 执行 GP03 连线, 启始端口: 振荡器 *OscSlvE2* 红色方形音频输出; 目标端口: 振荡器 *OscSlvE3* 红色圆形音频输入 *AM*。

调用音频输出模块, 按串联方式输出振荡器 *OscSlvE3* 的信号:

操作 G: 执行 GP01 调用音频输出模块 2 *outputs*。

操作 H^①: 执行 GP03 连线, 启始端口: 振荡器 *OscSlvE3* 红色方形音频输出; 目标端口: 频输出模块 2 *outputs 1* 红色圆形音频输入 *L*。

操作 I: 执行 GP03 连线, 启始端口: 频输出模块 2 *outputs 1* 红色圆形音频输入 *L*; 目标端口: 频输出模块 2 *outputs 1* 红色圆形音频输入 *R*。

这时我们已经能够听到声音了, 通过音频输出模块 2 *outputs1* 上的哑音开关(默认状态为解除状态 **M**)可以控制声音的送出与否。

执行 GP16 保存当前编辑音色, 文件名: *01.pch。

这时, 各模块之间关系见图 6.1.05 AM 合成铃声音色步骤 1:



图 6.1.05 AM 合成铃声音色步骤 1

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: Bell_AM01.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

① 为方便查找, 我们将在未来步骤中有可能被重新执行的步骤编码上增加了方框标记。

至此，我们通过 AM 的方法，获得了铃声音色的静态声谱，根据算法，我们需要进一步获得该音色的动态声谱变化。

三、获得动态声谱

获得动态声谱包括获得动态的音色力度响应和动态的声谱内容变化。本例中，获得动态声谱主要包括获得音色力度随时间及演奏力度的变化。

步骤 2:

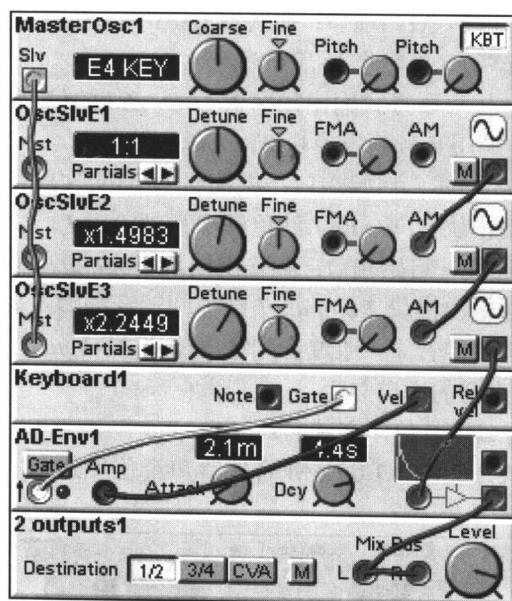


图 6.1.06 AM 合成铃声音色步骤 2

调用包络发生器，为振荡器施加振幅包络，本例中调用了简单包络发生器：

操作 A：执行 GP01 调用包络发生器 AD-Env。

根据算法设置包络发生器参数：

操作 B：执行 2 次 GP05，将包络发生器 AD-Env1 的触发时间参数 A 和衰减时间参数 D 分别设定为 2.1 毫秒和 4.4 秒。

调用键盘输入模块，采集演奏信息：

操作 C：执行 GP01 调用键盘输入模块 Keyboard。

为包络发生器施加逻辑触发信号：

操作 D：执行 GP03 连线，起始端口：键盘输入模块 Keyboard1 黄色方形逻辑输出 Gate；目标端口：包络发生器 AD-Env1 黄色圆形逻辑输入 Gate。

在通过包络发生器控制振荡器振幅包络之前，需要将原来振荡器与音频输出模块的连接断开。

操作 E：执行 GP04 去掉步骤 1 操作 H 中的连线。

通过包络发生器控制音色力度随时间的响应。

操作 F: 执行 GP03 连线, 起始端口: 振荡器 *OscSlvE3* 红色方形音频输出; 目标端口: 包络发生器 *AD-Env1* 红色圆形音频输入。

操作 G: 执行 GP03 连线, 起始端口: 包络发生器 *AD-Env1* 红色方形音频输出; 目标端口: 音频输出模块 2 *outputs 1* 红色圆形音频输入 *L*。

接下来获得音色力度随演奏力度的变化。

操作 H: 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Vel*; 目标端口: 包络发生器 *AD-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *02.pch。

这时, 各模块之间关系见图 6.1.06 AM 合成铃声音色步骤 2:

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: Bell_AM02.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

至此, 我们完成了通过 Nord Modular, 利用 AM 方法, 简化合成铃声音色的工作。

练习题:

比较观察第五章第 2 讲第一节铃声与本讲铃声音色的波形及声谱差异。

第2讲 环型调制合成风琴音色

环型调制(Ring Modulation 缩写为 RM)也是一种振幅调制,但其原理与 AM 略有不同。见图 6.2.01 RM 原理示意图:

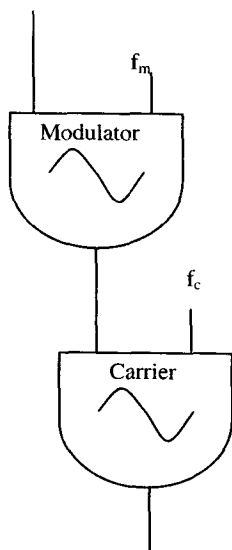


图 6.2.01 RM 原理示意图

在 Nord Modular 中,实现 RM 的方法与 FM 略有不同^①。由于振荡器上没有设置 RM 端子,因此需要借助特殊模块——环型调制模块,见图 6.2.02 Nord Modular RM 示意图:

如图 6.2.02 所示,频率比为 1 比 2 的,受主振荡器控制的属振荡器 OscSlvE1 和 OscSlvE2,各自的信号输出(红色方形音频输出端子)分别与环型调制模块 RingMod1 的调制输入端(红色圆形音频输入 Mod),和载波输入端(红色圆形音频输入)相连接;环型调制中间的调制类型旋钮指向环型调制 RM,表示振荡器 OscSlvE1 作为调制振荡器,对振荡器 OscSlvE2 进行环型调制。

由于 RM 采用调制振荡器信号直接对载波振荡器进行振幅调制,因此在以下方面与 AM 不同。首先,二者担任调制任务的信号极性不同。RM 的调制信号是双极(Bipolar)信号,而 AM 的调制信号是单极(Unipolar)信号。见图 6.2.03 RM 与 AM 调制信号波形示意图:

图 6.2.03 中,担任 RM 调制信号的波形振幅在正负两极发生变化,其波形的极性为双极;担任 AM 调制信号的波形振幅只在正方向发生变化,其波形的极性为单极。

其次,由于 RM 与 AM 中调制信号的极性不同,RM 与 AM 对结果声音的声谱影响也不同,见图 6.2.04 RM 与 AM 声音波形及声谱包络示意图:

^① 该方法也是实现 AM 的另一种方法。



图 6.2.02 Nord Modular RM 示意图

如图 6.2.04 所示为调制振荡器与载波振荡器皆为正弦振荡器, 频率比为 1 比 2(载波振荡器频率比调制振荡器频率高 1 倍); 调制深度都为最大时, 采用 AM 和 RM 两种不同振幅调制方法得到的结果声音的波形及声谱包络示意图。AM 使结果声音中, 基频的两侧边带分音占有一定的声学能量; 而 RM 由于使用双极信号进行振幅调制, 结果声谱中的基频被“吃”掉了, 只剩下占有很多声学能量的两侧边带分音。

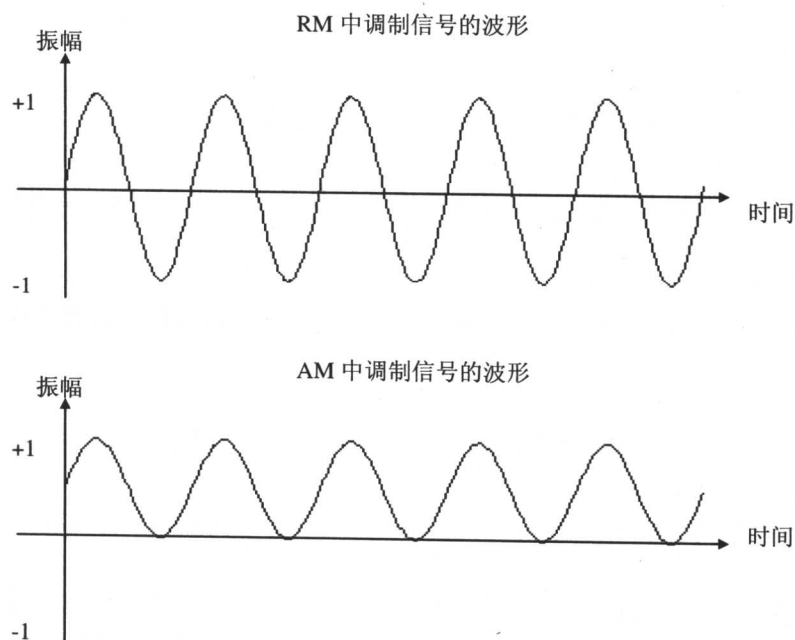


图 6.2.03 RM 与 AM 调制信号波形示意图

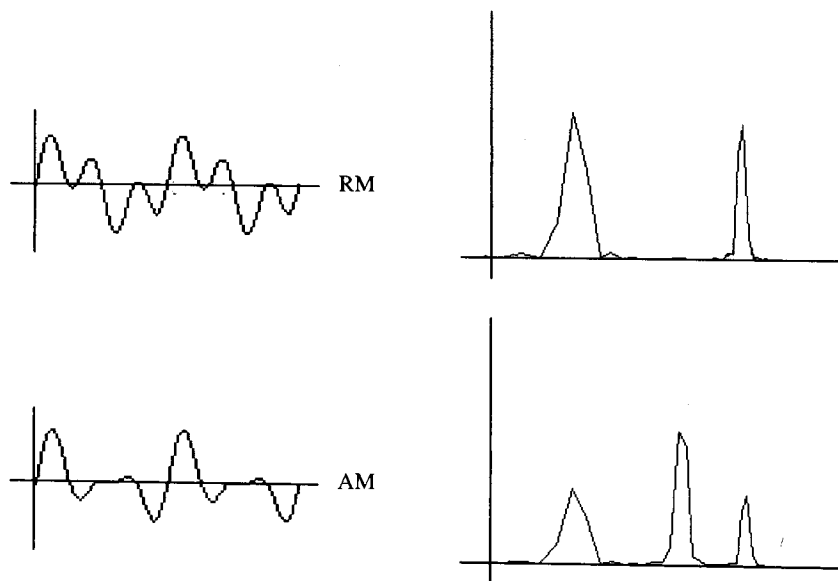


图 6.2.04 RM 与 AM 声音波形及声谱包络示意图

了解了环型调制的基本原理及在 Nord Modular 中的实现方法后,下面让我们利用 RM 合成方法,合成风琴音色。

一、合成方案

本部分包括绘制算法框图及进行算法分析两方面内容。

1. 算法框图

根据风琴音色的特点,绘制简化的 RM 合成风琴音色的算法框图,见图 6.2.05 RM 合成风琴音色流程简图:

2. 算法分析

按照图 6.2.05 中信号流程,我们对 RM 合成风琴音色的简化操作步骤流程进行以下分析:

- 调用产生正弦波的振荡器,将调制振荡器 Modular 与载波振荡器 Carrier 的频率关系设定为 2 比 1。
- 通过环型调制模块对载波振荡器 Carrier 进行环型调制,获得 RM 合成风琴音色的静态声谱。
- 通过 A、D、S、R 分别为 7 毫秒、520 毫秒、64、6.6 毫秒的包络发生器获得风琴音色力度随时间的响应(由于延留取值为最大值,因此默认 520 毫秒的衰减时间无实际作用);输出信号受演奏力度的影响,随演奏力度的变化成比例变化。
- 通过速率为 7.25Hz 的低频振荡器 LFO1,周期性地改变调制振荡器 Modular 对载波振荡器 Carrier 的环型调制深度,获得声谱内容随时间的变化。

- 通过速率与低频振荡器 LFO1 的速率比值为 0.561 比 1 的低频振荡器 LFO2, 对载波振荡器 Carrier 进行 AM 调制, 获得震音效果。

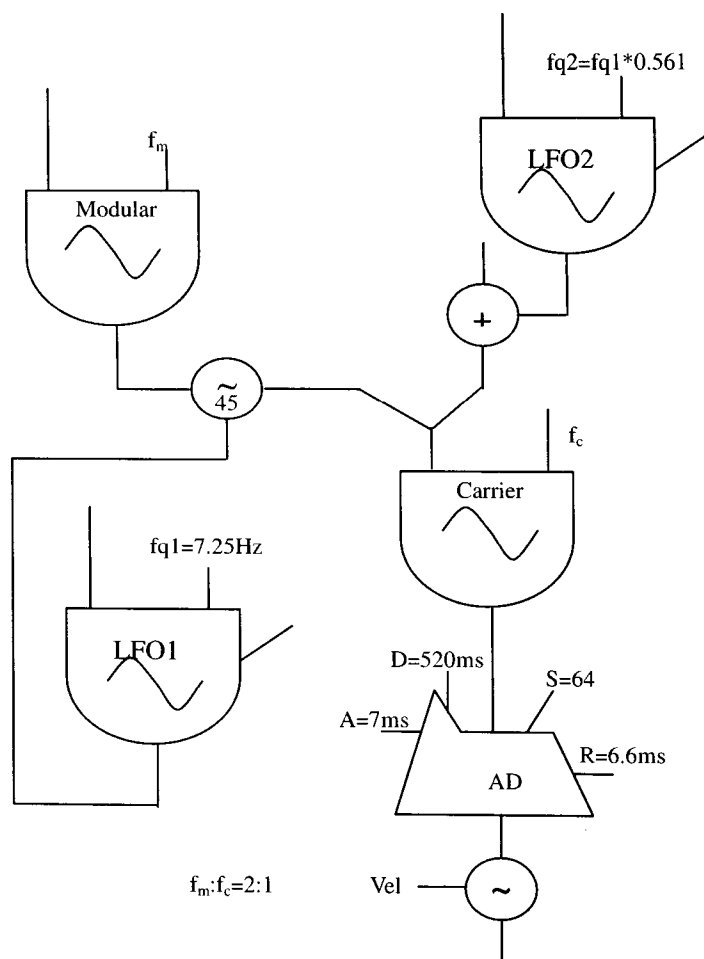


图 6.2.05 RM 合成风琴音色流程简图

下面让我们根据上述制订的合成方案，通过 Nord Modular，按简化步骤完成 RM 合成风琴音色的合成工作。

二、获得静态声谱

获得静态声谱包括获得声源及对声谱进行修饰。就本例而言，主要任务是获得声源。

执行 GP11^①做好系统准备；执行 GP15 关闭目前所有音色窗口；执行 GP12 新建一音色，目标声部：A。

① 有关编号为 GP#的全局操作的具体步骤请参阅本书附录三。

步骤 1:

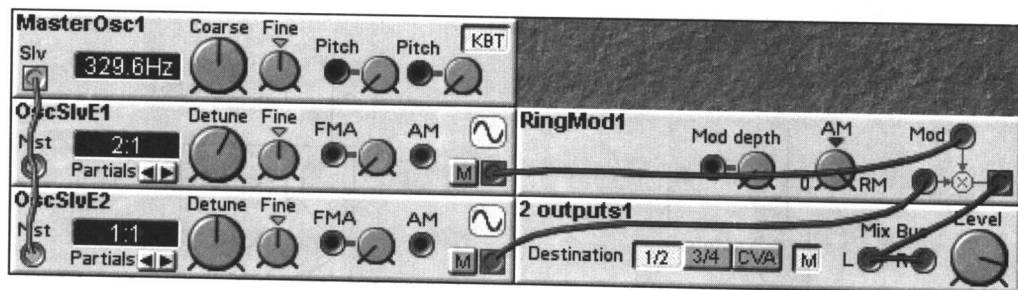


图 6.2.06 RM 合成风琴音色步骤 1

根据算法，采用主振荡器与属振荡器的组合：

操作 A：执行 GP01 调用主振荡器 *MasterOsc*^①。

操作 B：执行 2 次 GP01，分别调用 2 个属振荡器 *OscSlvE*。

设置属振荡器的频率参数：

操作 C：执行 GP05，将属振荡器 *OscSlvE1* 的频率与主振荡器的比值设定为 2。

按串型方式激活主振荡器对属振荡器的控制：

操作 D：执行 2 次 GP03 连线，起始端口：振荡器 *MasterOsc1* 灰色方形 *Slv* 输出；目标端口按串型方式分别为：振荡器 *OscSlvE1* 至 *OscSlvE2* 灰色圆形 *Mst* 输入。

根据算法调用环型调制模块：

操作 E：执行 GP01 调用环型调制模块 *RingMod*。

选择环型调制模块的调制类型：

操作 F：执行 GP05 将环型调制模块 *RingMod1* 的调制模式旋钮(0、AM、RM)设定为 RM。

通过环型调制模块对载波振荡器进行环型调制：

操作 G：执行 GP03 连线，起始端口：属振荡器 *OscSlvE1* 红色方形音频输出；目标端口：环型调制模块 *RingMod1* 红色圆形音频输入 *Mod*。

操作 H：执行 GP03 连线，起始端口：属振荡器 *OscSlvE2* 红色方形音频输出；目标端口：环型调制模块 *RingMod1* 红色圆形音频输入。

调用音频输出模块：

操作 I：执行 GP01 调用音频输出模块 *2 outputs*。

输出调制结果信号：

操作 J^②：执行 GP03 连线，起始端口：环型调制模块 *RingMod1* 红色方形音频输出；目标端口：频输出模块 *2 outputs 1* 红色圆形音频输入 *L*。

操作 K：执行 GP03 连线，起始端口：频输出模块 *2 outputs 1* 红色圆形音频输入 *L*；目标端口：频输出模块 *2 outputs 1* 红色圆形音频输入 *R*。

① 使用斜体字表示的内容为 Nord Modular 中的模块名称或参数名称。

② 为方便查找，我们将在未来步骤中有可能被重新执行的步骤编码上增加了方框标记。

这时我们已经能够听到声音了,通过音频输出模块 2 *outputs1* 上的哑音开关(默认状态为解除状态)可以控制声音的送出与否。

执行 GP16 保存当前编辑音色,文件名: *01.pch。

这时,各模块之间关系见图 6.2.06 RM 合成风琴音色步骤 1:

读者也可以通过执行 GP13,文件名: Organ_RM01.pch;目标声部: B,读取演示音色进行参考。

至此,我们通过 RM 的方法,获得了风琴音色的静态声谱,根据算法,我们需要进一步获得该音色的动态声谱变化。

三、获得动态声谱

本例中,获得动态声谱包括获得音色力度随时间及演奏力度的变化和动态的声谱内容变化。

1. 获得音色力度随时间及演奏力度的变化

首先获得音色力度随时间的变化。

步骤 2:

调用包络发生器,为振荡器施加振幅包络,本例中调用了标准包络发生器:

操作 A: 执行 GP01 调用包络发生器 *ADSR-Env*。

根据算法设置包络发生器参数:

操作 B: 执行 4 次 GP05,将包络发生器 *ADSR-Env1* 的参数 A、D、S、R 分别设定为 7 毫秒、520 毫秒、64、6.6 毫秒。

调用键盘输入模块,采集演奏信息:

操作 C: 执行 GP01 调用键盘输入模块 *Keyboard*。

为包络发生器施加逻辑触发信号:

操作 D: 执行 GP03 连线,起始端口:键盘输入模块 *Keyboard1* 黄色方形逻辑输出 *Gate*;目标端口:包络发生器 *ADSR-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

在通过包络发生器控制振荡器振幅包络之前,需要将原来振荡器与音频输出模块的连接断开。

操作 E: 执行 GP04 去掉步骤 1 操作 J 中的连线。

通过包络发生器控制音色力度随时间的响应。

操作 F: 执行 GP03 连线,起始端口:环型调制模块 *RingMod1* 红色方形音频输出;目标端口:包络发生器 *ADSR-Env1* 红色圆形音频输入。

操作 G: 执行 GP03 连线,起始端口:包络发生器 *ADSR-Env1* 红色方形音频输出;目标端口:音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 L。

接下来获得音色力度随演奏力度的变化。

操作 H: 执行 GP03 连线,起始端口:键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Vel*;目标端口:包络发生器 *ADSR-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

风琴音色一般用来演奏和声性的音乐,因此需要增大发音数:

操作 I: 找到软件编辑器下拉式菜单下面标示的发音数(Voices)显示窗旁边带左右箭头

的按钮，将所需发音数调整为 8。

执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：*02.pch。

这时，各模块之间关系见图 6.2.07 RM 合成风琴音色步骤 2：

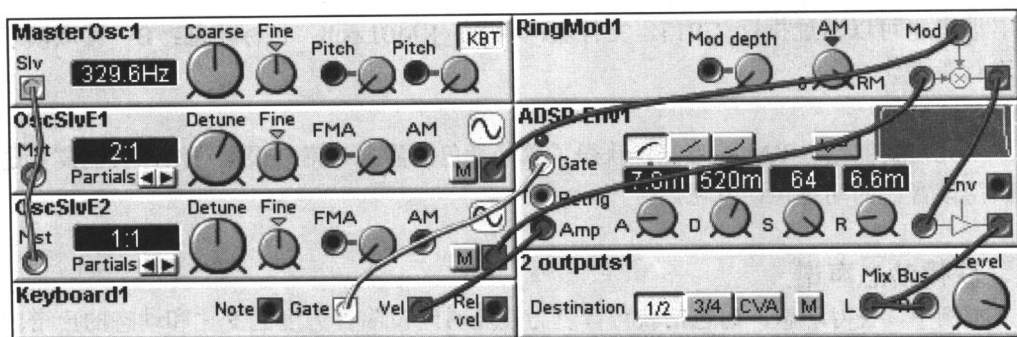


图 6.2.07 RM 合成风琴音色步骤 2

读者也可以通过执行 GP13，文件名：Organ_RM02.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

至此，我们已经可以通过 MIDI 键盘或编辑软件提供的键盘工具，实时演奏该音色，并获得了音色力度随时间和演奏力度的变化。根据算法，我们还需要获得该音色声谱内容随时间的变化。

2. 获得声谱内容随时间的变化

本例中通过低频振荡器周期性地改变调制振荡器对载波振荡器的环型调制深度，达到获得声谱内容随时间变化的目的。

步骤 3：

根据算法调用主低频振荡器：

操作 A：执行 GP01 调用主低频振荡器 LFOC。

设置主低频振荡器频率参数：

操作 B：执行 GP05 将低频振荡器 LFOC1 的速率 Rate 设定为 7.25Hz。

设置环型调制模块的调制深度：

操作 C：执行 GP05 将环型调制模块 RingMod1 的调制深度参数 Mod Depth 设定为 45。

通过低频振荡器随时间周期性地改变调制深度：

操作 D：执行 GP03 连线，起始端口：低频振荡器 LFOC1 红色方形音频输出；目标端口：环型调制模块 RingMod1 红色圆形音频输入 Mod Depth。

执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：*03.pch。

这时，各模块之间关系见图 6.2.08 RM 合成风琴音色步骤 3：

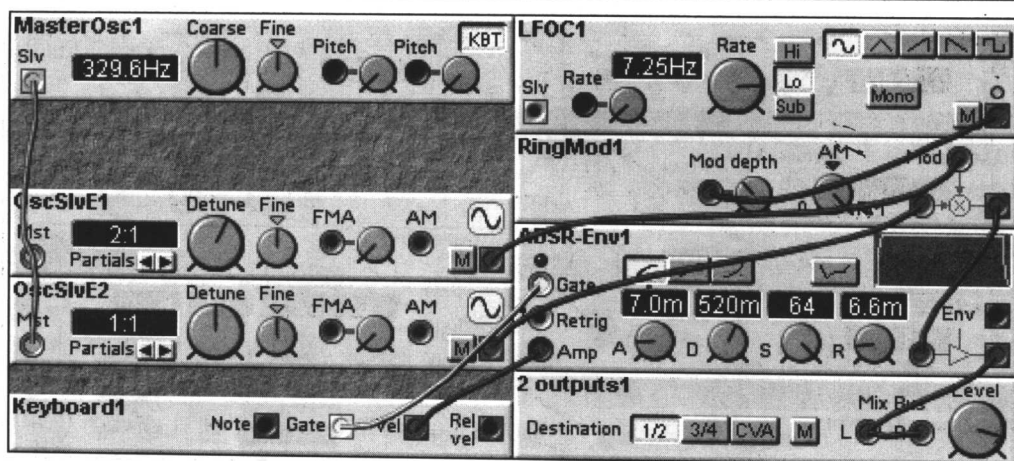


图 6.2.08 RM 合成风琴音色步骤 3

读者也可以通过执行 GP13, 文件名: Organ_RM03.pch; 目标声部: B, 读取演示音色进行参考。

至此, 我们已经通过 RM 方法, 获得了风琴音色的静态及动态声谱。根据算法, 需要为风琴音色添加震音效果。

四、后音色修饰

后音色修饰包括演奏控制及声音效果。本例中后音色修饰的主要内容是为 RM 合成的风琴音色施加震音演奏控制效果。

步骤 4:

根据算法, 调用第二个低频振荡器, 为节省资源, 调用属低频振荡器:

操作 A: 执行 GP01 调用属低频振荡器 LFOSlvC。

设定属低频振荡器与主低频振荡器地频率比:

操作 B: 执行 GP05 将低频振荡器 LFOSlvC1 的频率与主低频振荡器的比值设定为 0.561。

激活主低频振荡器对属低频振荡器的控制:

操作 C: 执行 GP03 连线, 起始端口: 主低频振荡器 LFO1 灰色方形 Slv 输出; 目标端口: 属低频振荡器 LFOSlvC1 灰色圆形 Mst 输入。

通过属低频振荡器对载波振荡器进行振幅调制获得震音效果:

操作 D: 执行 GP03 连线, 起始端口: 属低频振荡器 LFOSlvC1 蓝色方形控制输出; 目标端口: 属振荡器 OscSlvE2 红色圆形音频输入 AM。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *04.pch。

这时, 各模块之间关系见图 6.2.09 RM 合成风琴音色步骤 4:

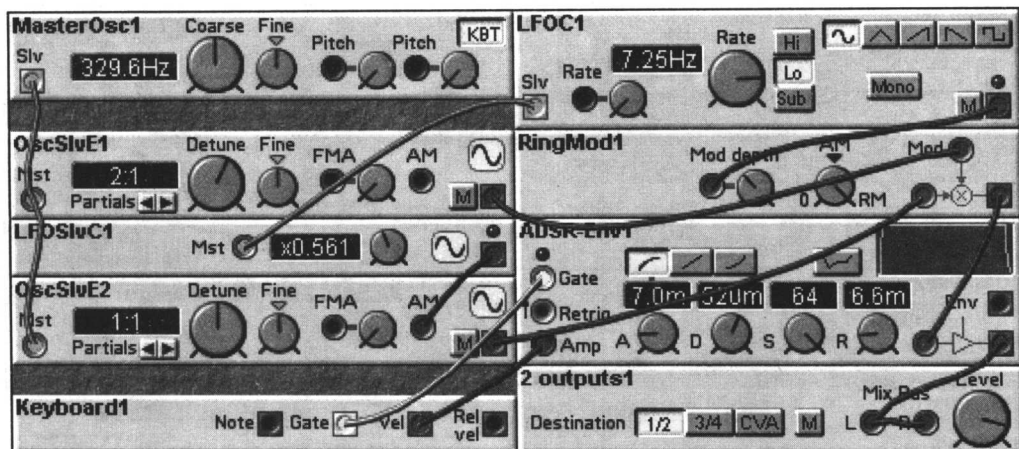


图 6.2.09 RM 合成风琴音色步骤 4

读者也可以通过执行 GP13，文件名：Organ_RM04.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

至此，我们完成了通过 Nord Modular，利用 RM 方法，简化合成风琴音色的工作。

练习题：

比较观察第三章第 5 讲加法合成风琴；第四章第 5 讲减法合成风琴与本讲风琴，这三个风琴音色的波形及声谱差异。

第3讲 共振峰合成合唱音色

在本书第一章第3讲的最后部分,我们在介绍音色的声谱变化时,提到音色变化的声谱内容中有一部分稳定成份,这就是大多数自然乐器音色具有的共振峰现象。根据这一理论进行的声音合成就叫做共振峰合成。

从各合成理论获得声谱层面的方式上讲,各种声音合成理论都可以根据自己的特点,达到保留合成音色中共振峰的目的。如加法合成中可以单独调用产生所需共振频率的振荡器;减法合成中可以通过带通滤波器,使声谱中始终保留所需的共振频段;FM 可以通过双载波振荡器,一个产生变化的声谱,一个产生共振峰等等。

从软硬件声音合成系统来看,各声音合成系统有着自己独特的共振峰合成方法。如著名的计算机音乐语言 Csound 是通过 FOF 发生器进行共振峰合成的。个别商业化的硬件声音系统也支持共振峰合成,如 YAMAHA FS1R 通过 Formant Sequence(造影模)进行共振峰合成。目前,各软硬件共振峰合成系统有一个共同特点:利用共振峰合成与人声相关的音色。

在 Nord Modular 中是通过一种特殊振荡器,共振峰振荡器^①和特殊功能的滤波器,人声滤波器^②等模块,根据共振峰原理合成与人声相关音色的。下面我们将通过 Nord Modular,根据共振峰原理,进行发“啊”音的合唱音色的合成实践。

一、合成方案

本部分包括绘制算法框图及进行算法分析两方面内容。

1. 算法框图

根据发“啊”音的合唱音色特点,绘制简化的共振峰合成合唱音色的算法框图,见图 6.3.01 共振峰合成合唱音色流程简图:

2. 算法分析

按照图 6.3.01 中信号流程,我们对共振峰合成合唱音色的简化操作步骤流程进行以下分析:

- 调用三个频率非常相近,频率分别为 329Hz、329.6Hz 和 330.2Hz 的共振峰振荡器,混合输出所有振荡器信号,再通过区分各振荡器的音色特质模拟合唱音色中的“群感”带来的频率相差很近的不谐和声谱,获得合唱音色的基本静态声谱。
- 调用人声滤波器,将其模拟元音旋钮指向 A(啊),通过人声滤波器完成对合唱音色声谱的修饰,获得正确的静态声谱。
- 通过 A、D、S、R 各阶段参数为 219 毫秒、0.5 毫秒、64 和 676 毫秒的包络发生器,使音色力度随时间的变化符合合唱音色的特征(其中衰减时间无实际作用);受演奏力度影响的输出信号,使音色力度可以随演奏力度成比例变化。
- 合唱队中由于每个歌者声音具有不同的颤音速率、颤音深度及幅度,因此在合唱

① 请参阅本书第二章第1讲第二部分中有关特殊功能振荡器的介绍。

② 请参阅本书第二章第2讲第四部分中有关专门化滤波器的介绍。

音色中存在结构性周期音高变化。调用不同的低频振荡器分别以不同速率对共振峰振荡器进行音高调制，获得音色的结构性周期音高变化。

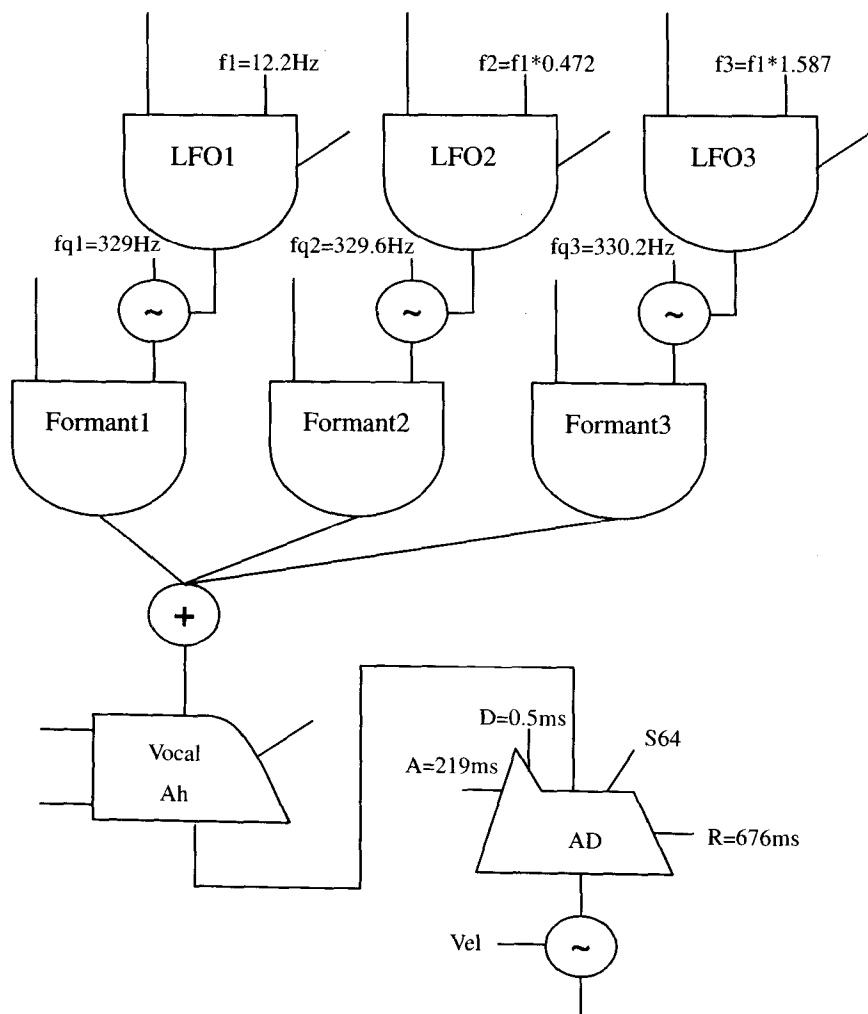


图 6.3.01 共振峰合成合唱音色流程简图

下面让我们根据上述制订的合成方案，通过 Nord Modular，按简化步骤完成共振峰合成合唱音色的合成工作。

二、获得静态声谱

本例中，获得静态声谱包括获得声源及声谱修饰两部分内容。

1. 获得声源

执行 GP11^①做好系统准备；执行 GP15 关闭目前所有音色窗口；执行 GP12 新建一音

① 有关编号为 GP# 的全局操作的具体步骤请参阅本书附录三。

色, 目标声部: A。

步骤 1:

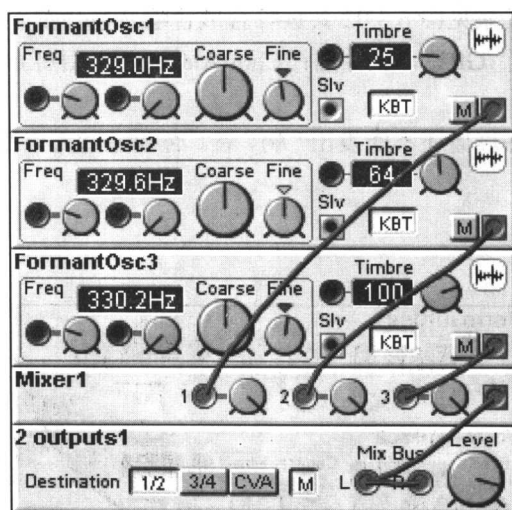


图 6.3.02 共振峰合成合唱音色步骤 1

根据算法调用共振峰振荡器:

操作 A: 执行 3 次 GP01, 分别调用 3 个共振峰振荡器 *FormantOsc*^①。

根据算法设定各振荡器默认频率参数:

操作 B: 执行 3 次 GP05, 分别将共振峰振荡器 *FormantOsc1* 至 *FormantOsc3* 的默认频率设定为 329Hz、329.6Hz、330.2Hz。

为进一步模拟合唱音色的群感, 需要将区分各振荡器的音色质地:

操作 C: 执行 3 次 GP05, 分别将共振峰振荡器 *FormantOsc1* 至 *FormantOsc3* 的音色选择参数 *Timbre* 定为 25、64、100。

调用混合器, 将各振荡器信号相加:

操作 D: 执行 GP01, 调用混合器模块 *3 inputs mixer*。

操作 E: 执行 3 次 GP03 连线, 起始端口分别为: 共振峰振荡器 *FormantOsc1* 至 *FormantOsc3* 红色方形音频输出; 目标端口分别为: 混合器模块 *Mixer 1* 红色圆形音频输入 1 至 3。

调用音频输出模块, 按串型方式输出振荡器信号:

操作 F: 执行 GP01, 调用音频输出模块 *2 outputs*。

操作 G^②: 执行 GP03 连线, 起始端口: 混合器模块 *Mixer 1* 红色方形音频输出; 目标端口: 音频输出模块 *2 outputs1* 红色圆形音频输入 L。

操作 H: 执行 GP03 连线, 起始端口: 音频输出模块 *2 outputs1* 红色圆形音频输入 L; 目标端口: 音频输出模块 *2 outputs1* 红色圆形音频输入 R。

这时我们已经能够听到声音了, 通过音频输出模块 *2 outputs1* 上的哑音开关(默认状态

① 使用斜体字表示的内容为 Nord Modular 中的模块名称或参数名称。

② 为方便查找, 我们将在未来步骤中有可能被重新执行的步骤编码上增加了方框标记。

为解除状态  可以控制声音的送出与否。

执行 GP16 保存当前编辑音色，文件名：*01.pch。

这时，各模块之间关系见图 6.3.02 共振峰合成合唱音色步骤 1：

读者也可以通过执行 GP13，文件名：ChoirAh01.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

现在合唱音色的静态声谱还不能发出“啊”音，必须通过人声滤波器对声谱进行修饰。

2. 修饰声谱

步骤 2：

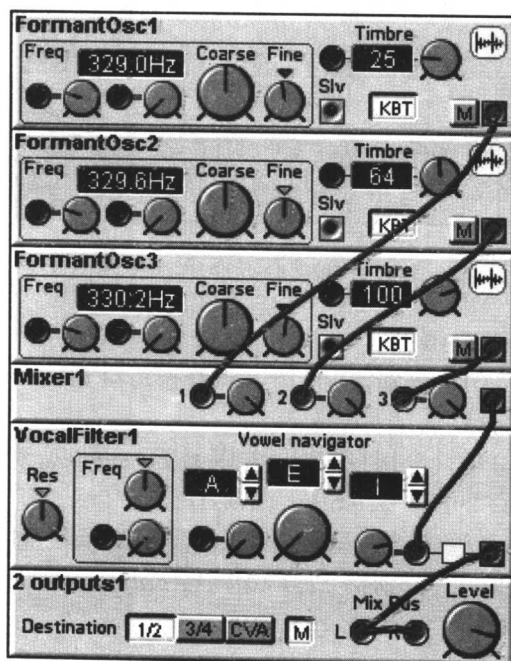


图 6.3.03 共振峰合成合唱音色步骤 2

根据算法调用人声滤波器：

操作 A：执行 GP01 调用人声滤波器 *VocalFilter*。

指定人声滤波器元音类型为“啊”：

操作 B：执行 GP05 将人声滤波器 *VocalFilter1* 的元音类型旋钮指向最左 (A)^①。

在通过人声滤波器对振荡器信号进行修饰之前，需要断开原来混合器与音频输出模块的连接：

操作 C：执行 GP04 去掉步骤 1 操作 G 中的连线。

通过人声滤波器输出振荡器信号：

操作 D：执行 GP03 连线，起始端口：混合器模块 *Mixer 1* 红色方形音频输出；目标

^① 在 Nord Modular 中，元音类型旋钮的最终效果取决于通过元音导航键(Vowel Navigator)确认的参数。

端口：人声滤波器 *VocalFilter1* 红色圆形音频输入。

操作 E: 执行 GP03 连线, 起始端口：人声滤波器 *VocalFilter1* 红色方形音频输出；目标端口：音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 L。

通过音频输出模块 2 *outputs1* 上的哑音开关(默认状态为解除状态)可以控制声音的送出与否。

执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名：*02.pch。

这时, 各模块之间关系见图 6.3.03 共振峰合成合唱音色步骤 2:

读者也可以通过执行 GP13, 文件名：ChoirAh02.pch; 目标声部：B, 读取演示音色进行参考。

至此, 我们根据共振峰原理, 获得了合唱音色的静态声谱, 根据算法, 我们需要进一步获得该音色的动态声谱变化。

三、获得动态声谱

本例中, 获得动态声谱包括获得音色力度随时间及演奏力度的变化, 和获得结构性音高变化两部分内容。

1. 获得音色力度随时间及演奏力度的变化

首先获得音色力度随时间的变化。

步骤 3:

调用包络发生器, 为振荡器施加振幅包络, 本例中调用了标准包络发生器:

操作 A: 执行 GP01 调用包络发生器 *ADSR-Env*。

根据算法设置包络发生器参数:

操作 B: 执行 4 次 GP05, 将包络发生器 *ADSR-Env1* 的参数 A、D、S、R 分别设定为 219 毫秒、0.5 毫秒、64、676 毫秒。

调用键盘输入模块, 采集演奏信息:

操作 C: 执行 GP01 调用键盘输入模块 *Keyboard*。

为包络发生器施加逻辑触发信号:

操作 D: 执行 GP03 连线, 起始端口：键盘输入模块 *Keyboard1* 黄色方形逻辑输出 *Gate*；目标端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

在通过包络发生器控制振荡器振幅包络之前, 需要将原来人声滤波器与音频输出模块的连接断开。

操作 E: 执行 GP04 去掉步骤 2 操作 E 中的连线。

通过包络发生器控制音色力度随时间的响应。

操作 F: 执行 GP03 连线, 起始端口：人声滤波器 *VocalFilter1* 红色方形音频输出；目标端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 红色圆形音频输入。

操作 G: 执行 GP03 连线, 起始端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 红色方形音频输出；目标端口：音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 L。

接下来获得音色力度随演奏力度的变化。

操作 H: 执行 GP03 连线, 起始端口：键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Vel*；目标端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

合唱音色一般用来演奏和声性的音乐，因此需要增大发音数：

操作 I： 找到软件编辑器下拉式菜单下面标示的发音数(Voices)显示窗旁边带左右箭头的按钮，将所需发音数调整为 8。

执行 GP17 另存当前编辑音色，文件名：*03.pch。

这时，各模块之间关系见图 6.3.04 共振峰合成合唱音色步骤 3：

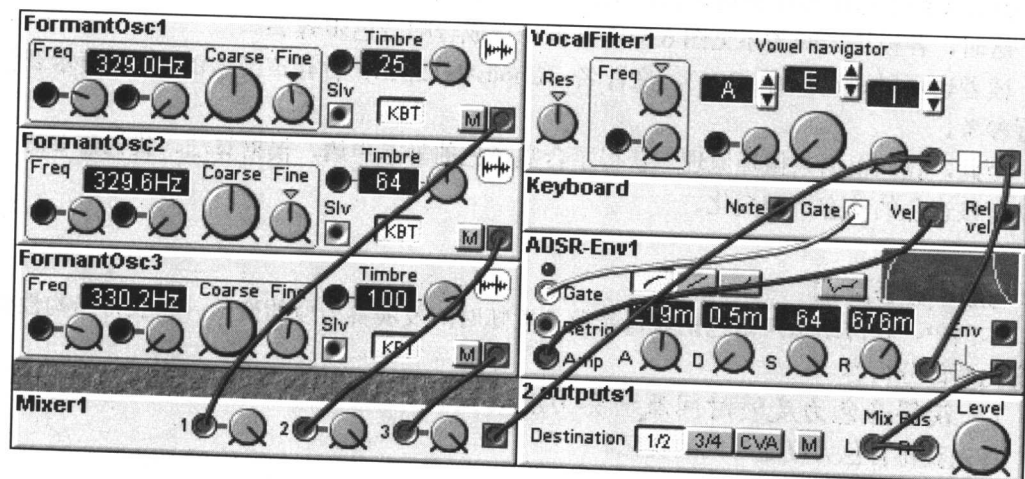


图 6.3.04 共振峰合成合唱音色步骤 3

读者也可以通过执行 GP13，文件名：ChoirAh03.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

至此，我们已经可以通过 MIDI 键盘或编辑软件提供的键盘工具，实时演奏该音色，并获得了音色力度随时间和演奏力度的变化。根据算法，我们还需要获得该音色的结构性音高变化。

2. 获得结构性音高变化

步骤 4：

根据算法需要调用三个低频振荡器分别对振荡器进行音高调制，为节省资源，采用主低频振荡器与属低频振荡器结合的方式：

操作 A： 执行 GP01 调用主低频振荡器 LFOA。

设置主低频振荡器速率参数：

操作 B： 执行 GP05 将主低频振荡器 LFOA1 的速率 Rate 设定为 12.2Hz。

调用属低频振荡器：

操作 C： 执行 2 次 GP01，分别调用 2 个属低频振荡器 LFOSlvC。

设置属低频振荡器与主低频振荡器的频率比：

操作 D： 执行 2 次 GP05，分别将属低频振荡器 LFOSlvC1 和 LFOSlvC2 与主低频振荡器的频率比设定为 0.482 和 1.587。

按串型方式激活主低频振荡器对属低频振荡器的控制：

操作 E： 执行 2 次 GP03 连线，起始端口：主低频振荡器 LFOA1 灰色方形 Slv 输出；

目标端口按串型方式分别为：属低频振荡器 *LFOSlvC1* 和 *LFOSlvC2* 灰色圆形 *Mst* 输入。

设置共振峰振荡器音高调制量：

操作 F：执行 3 次 GP05，分别将共振峰振荡器 *FormatOsc1* 至 *FormatOsc3* 上的音高调制量(左)设定为 30。

通过低频振荡器对共振峰振荡器进行音高调制：

操作 G：执行 3 次 GP03 连线，起始端口分别：主低频振荡器 *LFOA1*、属低频振荡器 *LFOSlvC1* 和 *LFOSlvC2* 蓝色方形控制输出；目标端口分别为：共振峰振荡器 *FormatOsc1* 至 *FormatOsc3* 音高调制(左)蓝色圆形控制输入。

这时，各模块之间关系见图 6.3.05 共振峰合成合唱音色步骤 4：

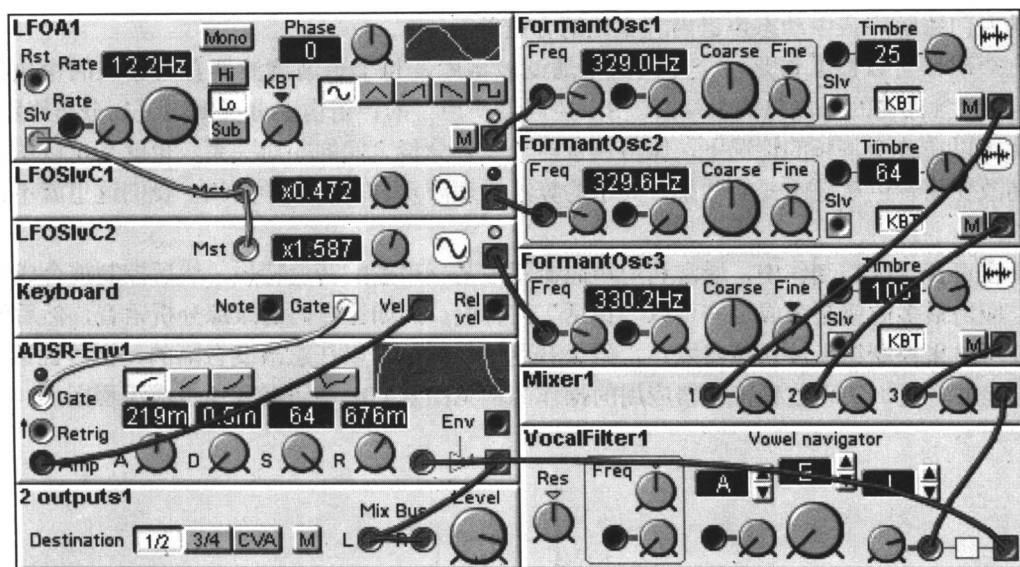


图 6.3.05 共振峰合成合唱音色步骤 4

读者也可以通过执行 GP13，文件名：ChoirAh04.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

至此，我们完成了通过 Nord Modular，根据共振峰原理，简化合成合唱音色的工作。

练习题：

试通过所掌握的合成知识，在本讲合唱音色的基础上，合成制作具有自渐强效果的合唱音色。

第4讲 声码器合成及其它

第一节 声码器合成“魔鬼”音色

本节中，我们将学习有关声码器的基本常识，以及通过声码器合成音色的实践步骤。

一、声码器

声码器(Vocoder)亦称相位声码器(Phase Vocoder)是基于大量的声音分析研究后，产生的专门跟踪声音中动态声谱内容变化的合成单元。

声码器可以被看作是一个多段的带通滤波器库，每个带通滤波器有着独立的中央频率，并包含独立的振幅包络跟踪器。由于声码器将声音的声谱内容分成多段进行分析跟踪，因此可以在改变基频的情况下，保留声音声谱中各分量之间的相对关系，也就是可以达到音高改变而音色质地不变的效果。其中的算法原理涉及过多的数学知识，我们这里就不讨论了。

在声音合成与制作中，通常利用声码器跟踪某一声音的音色特质，然后控制被合成音色。应用最多的就是合成那些可以“说话”的音色。例如让声码器跟踪分析语音，然后通过分析结果控制锯齿波振荡器发声，结果音色将是一个可以任意改变音高的，会“说话”的锯齿波音色。实现这种声码器应用的操作流程见图 6.4.01 声码器音色合成流程图：

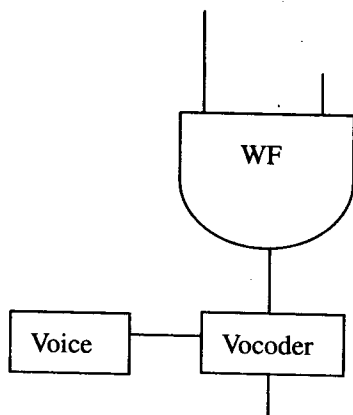


图 6.4.01 声码器音色合成流程图

如图 6.4.01 所示，振荡器信号经跟踪语音 Voice 信号的声码器 Vocoder 处理，按照语音的音色变化特征发声。实现上述应用的声音合成系统必须具备两个条件，其一，具有采用数字音频或实时音频作为声源的能力，其二，具有声码器合成单元。Nord Modular 是通

过采用实时音频与声码器结合的方法,进行上述合成任务的,见图 6.4.02 Nord Modular 声码器音色合成示意图:

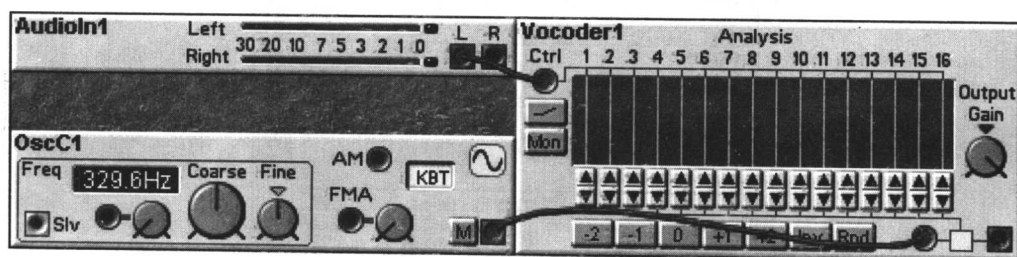


图 6.4.02 Nord Modular 声码器音色合成示意图

如图 6.4.02 所示,振荡器 OscC1 的音频输出(红色方形音频输出端子)与声码器模块 Vocoder1 的音频输入(红色圆形音频输入端子)相连接,表明振荡器信号将由声码器处理;声码器 Vocoder1 的音频输入端 Ctrl(红色圆形音频输入端子)与实时音频模块 AudioIn1 的音频输出 L(红色方形音频输出端子)相连接,表明声码器从实时音频模块处得到被分析声源。振荡器 OscC1 将按照实时音频模块 AudioIn1 的信号,在声码器的控制下发声。如果这时实时音频声源的音色为语音的话,振荡器 OscC1 将成为一个会“说话”的振荡器。目前,除了 Nord Modular 之外,还有一些专门采用声码器技术进行声音合成的硬件器材,如 Roland VP9000 等。

下面让我们以第四章第 2 讲减法合成的“风声”为基础音色,通过声码器简化合成“魔鬼”音色。

二、声码器合成“魔鬼”音色

由于本音色在获得静态声谱、动态声谱及后音色修饰方面的流程在合成“风声”音色时已经介绍过;合成“魔鬼”音色的最后步骤就是通过声码器分析实时音频获得的语音后,控制“风声”而得到的,原理流程和操作方法正如图 6.4.01 和图 6.4.02 展示的那样,只是将振荡器换成本例中的“风声”即可,因此这里省略了声码器合成“魔鬼”音色的原理流程图的绘制,和算法步骤分析过程。

执行 GP11^①做好系统准备;执行 GP15 关闭目前所有音色窗口。

步骤 1:

为节省篇幅,对基础音色的合成方法不再重复操作,我们采用直接读取然后另存的方法获得基础音色:

操作 A: 执行 GP13, 文件名: Wind.pch; 目标声部: A。

操作 B: GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *01.pch。

^① 有关编号为 GP# 的全局操作的具体步骤请参阅本书附录三。

这时，各模块之间关系见图 6.4.03 声码器合成“魔鬼”音色步骤 1:

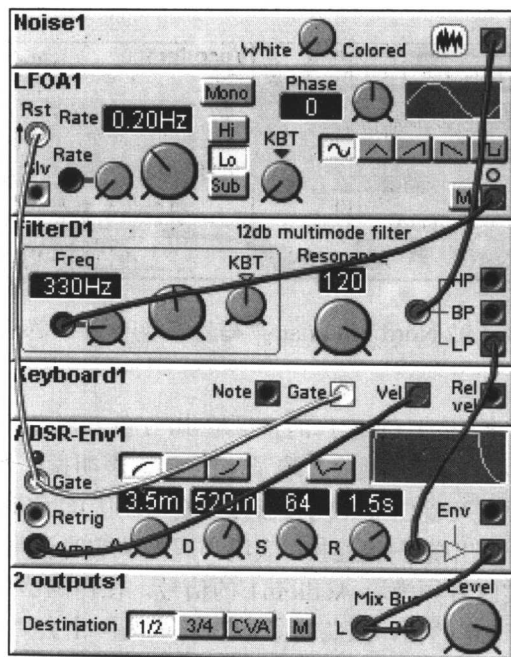


图 6.4.03 声码器合成“魔鬼”音色步骤 1

读者也可以通过执行 GP13，文件名：Monster01.pch；目标声部：A，直接读取演示音色。

步骤 2:

调用音频输入模块:

操作 A: 执行 GP01 调用音频输入模块 *AudioIn*^①。

由于 Nord Modular 中的音频输入模块为立体声模式，因此，为获得更好的信号效果，我们需要调用混合器将信号混合:

操作 B: 执行 GP01 调用混合器 *3 inputs mixer*。

操作 C: 执行 2 次 GP03 连线，起始端口分别为：音频输入模块 *AudioIn1* 红色方形音频输出 L 和 R；目标端口分别为：混合器 *Mixer 1* 红色圆形音频输入 1 和 2。调用声码器模块，将音频输入模块采集到的信号送入声码器:

操作 D: 执行 GP01 调用声码器 *Vocoder*。

操作 E: 执行 GP03 连线，起始端口：混合器 *Mixer 1* 红色方形音频输出；目标端口：声码器 *Vocoder1* 红色圆形音频输入 *Ctrl*。

调整声码器输出信号大小:

操作 F: 执行 GP05 将声码器 *Vocoder1* 的信号输出旋钮设定为最大($\times 4.00$)。

① 使用斜体字表示的内容为 Nord Modular 中的模块名称或参数名称。

在将“风声”音色送入声码器进行处理之前，需要将原来包络发生器与音频输出模块的连接断开：

操作 G：执行 GP04 断开连线，起始端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 红色方形音频输出；
目标端口：音频输出模块 2 *outputs* 红色圆形音频输入 L。

将“风声”送入声码器进行处理：

操作 H：执行 GP03 连线，起始端口：包络发生器 *ADSR-Env1* 红色方形音频输出；目
标端口：声码器 *Vocoder1* 红色圆形音频输入。

在将处理后信号输出前，需要调用放大模块对信号进行放大：

操作 I：执行 GP01 调用放大模块 *Amplifer1*。

设置放大倍数：

操作 J：执行 GP05 将放大模块 *Amplifer1* 的放大倍数设定为 4。

输出结果声音信号：

操作 K：执行 GP03 连线，起始端口：声码器 *Vocoder1* 红色方形音频输出；目标端口：
放大模块 *Amplifer1* 红色圆形音频输入。

操作 L：执行 GP03 连线，起始端口：放大模块 *Amplifer1* 红色方形音频输出；目标端
口：音频输出模块 2 *outputs* 红色圆形音频输入 L。

这时，各模块之间关系见图 6.4.04 声码器合成“魔鬼”音色步骤 2：

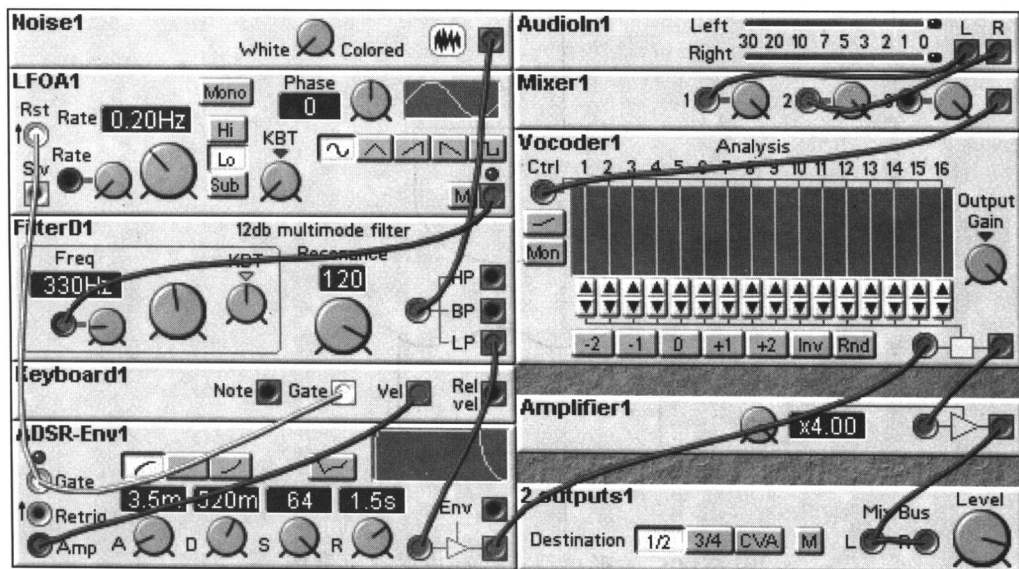


图 6.4.04 声码器合成“魔鬼”音色步骤 2

读者也可以通过执行 GP13，文件名：Monster02.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

至此，我们完成了通过 Nord Modular 声码器，简化合成“魔鬼”音色的工作。

至此，我们按照 AM、RM、共振峰合成原理及利用声码器，完成了铃声、风琴、合唱及“魔鬼”共四个音色，简化的声音合成任务。以实践的方式体会了各合成方法中，获得静态声谱、动态声谱等内容的方法。下面我们将介绍几种其它的合成方法。

第二节 其它合成方法

本节中，我们将介绍有关波形塑型(Waveshaping)、颗粒合成(Granular Synthesis)以及物理模型(Physical Modeling)的基本常识。由于本书中实践内容所依托的硬件声音合成系统 Nord Modular 在实现上述合成方法时有一定难度，因此本节中将省略有关利用上述方法进行声音合成的实践操作内容。

一、波形塑型

至此本书中介绍过的各种声音合成方法，最重要的目的之一就是获得目的声音的声谱。而大部分合成理论都是通过简单波形振荡器产生声谱中各分量，通过加上、减去、调制等诸多方法，获得目的声谱中应该包含的分音成份。

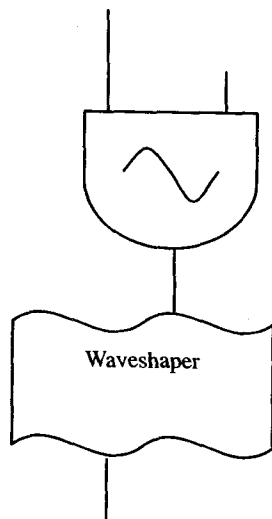


图 6.4.05 波形塑型声音合成原理示意图

获得目的声谱后，带给波形的直接影响就是那些振荡器产生的波形，由简单变成了复杂波形。如图 6.1.04 不同调制深度 AM 声音波形及声谱包络示意图中所示，载波振荡器的波形如 AM=0 时所示，为简单的正弦波形；经过振幅调制后，在该例中结果波形可以变成 AM=64 时的模样。

如果我们换一个思路想，可以这样认为：声音合成的目的就是要简单的波形变成复

杂的波形。正是基于这种思路,波形塑型就是通过特殊的声音合成单元——波形塑型器(Waveshaper),直接改变简单波形的形状,达到声音合成目的的。见图 6.4.05 波形塑型声音合成原理示意图:

如图 6.4.05 所示,正弦波振荡器产生的信号,经过波形塑型器 Waveshaper 的处理后,将改变波形形状后输出。

可以将波形塑型器理解为一个处理器。当波形经过一个处理器如放大器时,由于放大器是线性处理器,因此改变处理器输入端信号的振幅,结果是使输出信号的振幅也随之增大,但波形没有改变。波形塑型器是一个非线性^①的处理器。经过波形塑型器处理后的输出信号取决于波形塑型器的非线性特性,因此改变输入端信号的振幅可以导致结果信号波形的改变。至于波形塑型器的算法原理由于涉及过多数学知识,我们这里就不介绍了。

Nord Modular 中没有专门的可控波形塑型器,但这并不意味着我们不可以通过 Nord Modular 利用波形塑型原理进行声音合成。因为波形塑型的原则就是试图将简单波形改变成复杂波形。而 Nord Modular 中虽然没有专门的可控波形塑型器,但是有可以改变波形形状的声音合成单元模块,有兴趣的读者可以自己动手试一试。

二、颗粒合成

在本书第一章中我们曾经介绍过,在基于傅立叶理论的声音合成与制作中,描述一个音色主要从两个层面,频率层面和时间层面。从频率层面描述一个音色,虽然可以清楚地知道一个音色到底包含了哪些分音,以及各个分音占有的声学能量,但不能清晰地反映音色随时间的变化。以时间来考量一个音色时,通常是通过该音色的波形。然而通过一个音色的波形,也只能反映出声音的振动模式随时间的变化,不能反映出音色中其它维度的内容。

物理学家戴尼斯 伽柏(Denis Gabor)提出关于声学的量子假说,是同时从频率和时间层面对听觉感知进行认知的基础理论。伊恩纳斯 爱可瑟纳克斯(Iannis Xenakis)根据这一理论,将声音看成由无数个“颗粒(Grains)”组成,只要产生足够多的颗粒,然后按照规则控制这些颗粒的排列分布方式,就能合成相应的声音。

在颗粒合成中,每个颗粒是一个受特殊包络控制的很小的声音能量。为了避免颗粒产生明显的音高感知,一般时值在 5 至 50 毫秒之间。控制这些颗粒产生与分布的方法有两种:同步模式和非同步模式。

在同步模式下,颗粒是在明确的时间间隔内被触发的,产生的结果声音是有着特定音高周期的声音。在非同步模式下,与同步模式相反,颗粒是在随机的时间间隔内被触发,带来的是一片声音。

目前为止,还没有仅以颗粒合成方法,专门进行声音合成的硬件系统。Nord Modular 中虽然没有专门的颗粒发生器,但我们可以根据颗粒合成的原理,通过振荡器与包络发生器制造出这些颗粒,然后按照一定的规则控制这些颗粒的分布,就能通过颗粒合成的方法,在 Nord Modular 中进行声音合成。在 Nord Modular 的预置音色中,有一些是采用颗粒合成原理制作的音色,有兴趣的读者可以调用这些音色进行学习。

^① 有关线性与非线性等数学概念请参阅相关参考书籍。

三、物理模型

在此之前,本书介绍的所有的声音合成方法中,虽然它们各自有着不同的原理及方法,甚至基于不同的理论基石,如大部分声音合成理论是基于傅立叶理论的,而颗粒合成则是基于伽柏理论。但是它们都有一个共同的特点,都是基于信号发生模型,而这些模型都是各种数学模型的直接套用。

物理模型的宗旨是设法让声音合成系统中的参数,利用音乐家们演奏乐器的经验,对声音进行合成与控制。举例来说就是根据演奏家们的经验,建立物理模型,设法让声音合成系统中的参数,模拟钢琴家下键力度对音色的影响,取代根据数学模型,改变参数只是改变如调制深度等内容的做法。

众所周知,要成为一个演奏家要付出多少学习和实践,根据物理模型合成原理制作的声音,自然对通过电子合成技术模拟自然乐器音色,和加强电子合成音色的人性化控制方面,有着重要意义。目前,专门以物理模型为合成原理进行声音合成的硬件声音合成系统有 YAMAHA VL1 等。

至此,我们完成了本书中,对各种音色合成理论的介绍和音色合成实践。让我们通过下一章,对所学的合成原理进行总结,同时,思考电子音色合成在音乐创作中的应用等问题。

练习题:

试根据本讲第一节中原理,以前章节中任一合成音色为基础(注意选择占用系统资源较少的音色),使其变成可以“演唱”的音色。

第七章 合成方法的综合应用及其特性

本章中，我们将对主要合成原理进行总结，并对技术上如何应用这些合成原理提出一些建议的同时，介绍音色合成中音色想象力的重要性；另外，站在音乐创作角度，从操作和概念两方面讨论对音色认知的拓展；最后，根据电子音色合成的审美特性，提出了现代音乐中的“无乐器”法则，并尝试总结电子合成音色的审美标准。

第1讲 合成原理综述

本讲中，我们将对主要合成原理进行总结，并从技术角度，就如何应用所学的各种合成原理提出一些建议。

一、合成原理总结

下面我们将以音色合成的操作步骤为逻辑，从获得静态声谱、获得动态声谱和后音色修饰三个方面，总结一下所学过的主要合成原理^①。

1. 获得静态声谱

获得静态声谱包括获得声源和声谱修饰，让我们先看一看各种合成原理在获得声源方面的具体方法。

A. 获得声源

见表 7.1.01 各合成原理获得声源的方法：

表 7.1.01 中所列的各种合成原理在获得声源时，除声码器可以采用数字音频和实时音频作为声源外，其它合成方法都采用以振荡器为主要发声单元的电子振荡声源，其中包括像正弦波振荡器这样的简单波形振荡器以及复杂波形振荡器，也有像共振峰振荡器这样的特殊振荡器。除加法合成外，各合成理论对振荡器数量的要求并不大，也就是说是比较节省声音系统资源的合成原理。

从理论上说，只有加法合成可以自由地根据目的声谱的内容，采用正弦振荡器产生所有分音，然后将它们相加在一起，绝对精确地获得目的声谱。其它合成原理由于算法限制，首先对目的声谱的选择不具备很强的自由度，其次或多或少地会在结果声谱中多出或缺失某些目的声谱内容，也就是说这些合成原理所获得的结果声谱具有近似性。然而在加法合成的实践中，这种理论优势是有条件的。从理论上讲，目的声谱中包含多少个分音，采用加法合成时就需要多少个振荡器。见图 7.1.01 使用不同数量振荡器加法合成锯齿波结果波

^① 各声音合成理论实现声音合成各个环节的方法有很多，本章中总结的方法都是最主要的常用方法。

形示意图：

合成方法	工具	工具属性	操作	作用对象	对象属性
加法	混合器		相加	所有分音振荡器	一般为正弦振荡器
减法	振荡器	需复杂波形振荡器			
FM	调制振荡器	一般为正弦振荡器	调制	载波振荡器	一般为正弦振荡器
AM	调制振荡器	一般为简单波形振荡器	调制	载波振荡器	一般为简单波形振荡器
RM	调制振荡器	一般为简单波形振荡器	调制	载波振荡器	一般为简单波形振荡器
共振峰	振荡器	必须为共振峰振荡器			
声码器	声码器	数字音频或实时音频	声音编码	声源	

表 7.1.01 各合成原理获得声源的方法

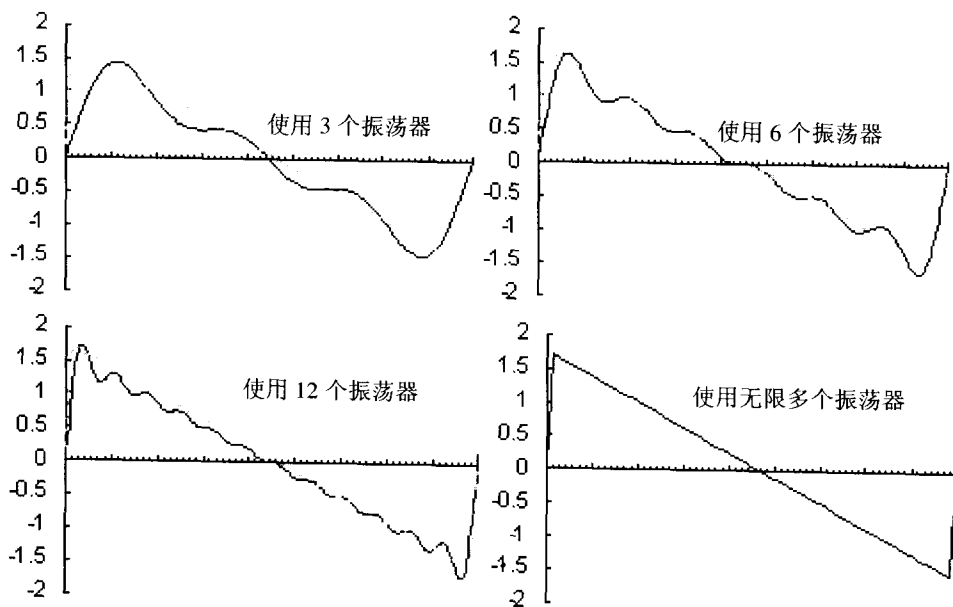


图 7.1.01 使用不同数量振荡器加法合成锯齿结果波形示意图

图 7.1.01 中所示分别为采用加法合成原理合成锯齿波时，采用 3 个、6 个、12 个和无

限多个振荡器的情况下，结果声音的波形示意图，其中实线表示各种情况下的结果声音波形，虚线代表目的声音锯齿波的波形。随着采用振荡器数量的增加，结果波形越来越趋近于目的波形，只有参与合成的振荡器数量达到理论上要求的无限多时，才可能获得绝对的锯齿波波形。但是在实际声音合成系统中，几乎没有一个系统容许采用无限多数量的振荡器^①，尤其是硬件声音合成系统。当我们采用加法合成原理进行某些声音的合成时，由于必须考虑系统资源的承载能力，因此只能通过有限的振荡器数量，获得相对精确的目的声谱；占用过多的系统资源以及所获目的声谱的相对精确性是加法合成原理在声音合成实践中的特点。

B. 修饰声谱

见表 7.1.02 各合成原理修饰声谱的方法：

合成方法	工具	工具属性	作用对象	备注
加法	滤波器	任何类型	声源	一般不需要
减法	滤波器	任何类型	声源	必需
FM	滤波器	任何类型	载波振荡器	可以不需要
AM	滤波器	任何类型	载波振荡器	可以不需要
RM	滤波器	任何类型	载波振荡器	可以不需要
共振峰	滤波器	人声滤波器	声源	必需
声码器	滤波器	任何类型	声源	可以不需要

表 7.1.02 各合成原理修饰声谱的方法

由于加法合成获得的结果声谱具有相对精确性，因此一般情况下不需要对结果声谱进行修饰；FM、AM、RM 及声码器合成可以根据需要决定进行声谱修饰与否；必须进行声谱修饰的就是减法合成与共振峰合成。其中，减法合成可以根据目的声谱的要求，选择普通滤波器或特殊滤波器的任何一种进行声谱修饰；共振峰合成由于主要目的是合成与人声相关的声音，因此需要人声滤波器对声谱进行修饰。

2. 获得动态声谱

获得动态声谱包括获得动态的音色力度变化、音色的动态音高变化以及动态的声谱内容变化。其中，动态声谱内容变化又包含随时间、演奏力度和音高等因素改变声谱内容等几个方面。

A. 获得动态的音色力度变化

音色的力度响应可以随时间、演奏力度和音高等不同因素产生动态变化，见表 7.1.03 各合成原理随不同因素改变音色力度响应的方法：

对于各种声音合成原理来说，获得动态音色力度变化的方法基本一致，即通过包络发生器影响声源振幅，获得音色力度随时间的动态响应；通过演奏力度控制影响声源振幅随时间变化的包络发生器的输出大小，获得音色力度随演奏力度的动态响应；通过演奏音高

① 某些计算机音乐语言可以通过算法趋近理论要求如 Csound。

控制影响声源振幅随时间变化的包络发生器的输出大小，获得音色力度随演奏音高的动态响应。

变化因素	工具	作用对象
时间	包络发生器	声源振幅
演奏力度	键盘输入采集的演奏力度	影响声源振幅随时间变化的包络发生器的输出大小
演奏音高	键盘输入采集的演奏音高	影响声源振幅随时间变化的包络发生器的输出大小

表 7.1.03 各合成原理随不同因素改变音色力度响应的方法

B. 获得音色动态的音高变化

音色动态的音高变化有周期性和非周期性音高变化两种。见表 7.1.04 各合成原理获得音色动态音高变化的方法：

合成方法	周期性	非周期性	作用对象
加法	低频振荡器	包络发生器	所有振荡器
减法	低频振荡器	包络发生器	声源振荡器
FM	低频振荡器	包络发生器	载波振荡器
AM	低频振荡器	包络发生器	载波振荡器
RM	低频振荡器	包络发生器	载波振荡器
共振峰	低频振荡器	包络发生器	声源振荡器
声码器	低频振荡器	包络发生器	声源振荡器

表 7.1.04 各合成原理获得音色动态音高变化的方法

各种声音合成原理一般都是通过低频振荡器获得音色周期性的动态音高变化；通过包络发生器获得音色非周期性的动态音高变化。不同之处只是作用对象的差异。由于加法合成需要对每个振荡器分别施加控制，因此如果不采用主振荡器对属振荡器的控制^①的话，将会非常消耗系统资源。

C. 随时间因素改变声谱内容

声谱内容的变化包括分音频率和分音振幅两方面的动态变化，见表 7.1.05 各合成原理随时间因素改变声谱内容的方法：

在使用工具方面，大部分合成原理是通过包络发生器控制相应的合成单元，获得分音频率和分音振幅随时间的动态变化。其中，声码器是采用随时间变化的外部控制源作为工具；加法合成获得分音振幅随时间动态响应的方法与其它方法相同，但获得分音频率随时

^① 有关主振荡器与属振荡器的概念请参阅本书第二章第 1 讲。

间动态变化的方法，则是通过随时间变化的逻辑开关实现的。

合成方法	分音频率	作用对象	分音振幅	作用对象	作用范围
加法	随时间变化的逻辑开关	影响分音振荡器振幅的包络发生器的逻辑触发	包络发生器	分音振荡器振幅	单个分音
减法	包络发生器	滤波器截止频率和共振	包络发生器	滤波器截止频率和共振	成批分音
FM	包络发生器	调制振荡器振幅	包络发生器	调制振荡器振幅	成批分音
AM	包络发生器	调制振荡器振幅	包络发生器	调制振荡器振幅	成批分音
RM	包络发生器	调制振荡器振幅	包络发生器	调制振荡器振幅	成批分音
共振峰	包络发生器	共振峰振荡器音色	包络发生器	共振峰振荡器音色	成批分音
声码器	随时间变化的外部控制源	声码器各库带宽	随时间变化的外部控制源	声码器各库带宽	成批分音

表 7.1.05 各合成原理随时间因素改变声谱内容的方法

在作用范围方面，由于加法合成是针对每个分音振荡器进行控制的，因此只有加法合成可以做到独立地，精确地控制任意单个分音频率及振幅随时间的动态变化。其它合成方法由于是对成批分音进行控制，因此在获得声谱内容随时间变化方面，不具有加法合成的独立性、精确性等特点。当然，独立性和精确性同样是要付出系统资源作为代价的。

D. 随演奏力度和音高改变声谱内容

随演奏力度和音高变化的声谱内容，同样包含分音频率和分音振幅两方面内容，见表 7.1.06 各合成原理随演奏力度和音高改变声谱内容的方法：

表 7.1.06 中虽然没有给出声码器获得音色声谱内容随演奏力度和音高动态变化的方法，只意味着大多数声音合成系统中，声码器不具备受演奏力度和音高调制的功能，但在个别系统中应该可以实现。即或直接通过声码器不能获得声谱内容随演奏力度和音高的动态变化，还可以通过演奏力度和音高，影响进入声码器的声源，达到该目的。

各合成原理在获得音色声谱内容随演奏力度和音高变化时，所使用的主要工具都是键盘采集到的演奏力度和音高信息。

作用对象方面，大多数合成原理都是通过演奏力度和音高，调制相应包络发生器的输出大小，获得声谱分音频率和振幅随演奏力度和音高的动态变化。只有加法合成获得分音频率随演奏力度和音高变化时，作用对象与其它方法不同，被控对象不是包络发生器，而是逻辑开关。

合成方法	分音频率	作用对象	分音振幅	作用对象	作用范围
加法	键盘输入采集的演奏力度和音高	随时间变化的逻辑开关	键盘输入采集的演奏力度和音高	影响分音振荡器振幅的包络发生器的输出大小	单个分音
减法	键盘输入采集的演奏力度和音高	影响滤波器截止频率和共振的包络发生器的输出大小	键盘输入采集的演奏力度和音高	影响滤波器截止频率和共振的包络发生器的输出大小	成批分音
FM	键盘输入采集的演奏力度和音高	影响调制振荡器振幅的包络发生器的输出大小	键盘输入采集的演奏力度和音高	影响调制振荡器振幅的包络发生器的输出大小	成批分音
AM	键盘输入采集的演奏力度和音高	影响调制振荡器振幅的包络发生器的输出大小	键盘输入采集的演奏力度和音高	影响调制振荡器振幅的包络发生器的输出大小	成批分音
RM	键盘输入采集的演奏力度和音高	影响调制振荡器振幅的包络发生器的输出大小	键盘输入采集的演奏力度和音高	影响调制振荡器振幅的包络发生器的输出大小	成批分音
共振峰	键盘输入采集的演奏力度和音高	影响共振峰振荡器音色的包络发生器的输出大小	键盘输入采集的演奏力度和音高	影响共振峰振荡器音色的包络发生器的输出大小	成批分音
声码器					

表 7.1.06 各合成原理随演奏力度和音高改变声谱内容的方法

在作用范围方面，与加法合成获得声谱内容随时间动态变化的方法一样，在付出系统资源代价的前提下，加法合成获得声谱内容随演奏力度和音高的变化，同样具有独立性和精确性。

3. 后音色修饰

后音色修饰主要包括演奏控制和声音效果两部分内容。

A. 演奏控制

演奏控制主要包括对音色施加颤音、震音等自定义演奏控制，和弯音、滑音、延音等预置演奏控制。

各合成理论获得颤音、震音等自定义演奏控制的基本方法，与我们在本书第二章第 6 讲中介绍的相同，主要差异体现在作用对象的不同。其中，加法合成需要通过相应的工具，对每个振荡器进行控制。

至于预置的演奏控制方面，各合成原理采用的方法基本一致。

B. 声音效果

无论是信号处理还是信号修饰，各合成原理对音色进行声音效果处理时的方法，都是

通过将已经获得的动态声谱送入相应的声音处理单元中进行的,因此基本与合成原理本身无关。具体方法请参阅本书第二章第6讲。

二、合成原理的应用

这里所说的各种合成原理的应用,是在以目的声谱为合成目标的前提下进行讨论的。我们从各种合成方法的独立应用和综合应用两方面进行合成原理应用的讨论。

1. 独立应用

在通过单一声音合成理论,以目的声谱为合成目标进行声音合成时,一定要根据目的声谱的特点,结合各种合成理论的性能,决定采用哪种合成理论进行声音合成实践。让我们从获得静态声谱和动态声谱两方面讨论一下这个问题。

A. 获得静态声谱

如果目的声谱中各分量之间存在某种数理关系,建议采用减法合成和 FM、AM、RM 等调制合成原理产生静态声谱,然后通过声谱修饰达到满意的效果。

如果目的声谱中各分量之间不存在数理关系,需要独立、精确地控制每个分量的时候,加法合成原理自然是最佳的选择。

再比如目的声谱是比较特殊的声音,如人声等。理论上通过任何合成原理都可以获得该声音的目的声谱,但通过共振峰或声码器合成可以事半功倍地,完成获得该类声音静态声谱的目的。

B. 获得动态声谱

在选择获得动态声谱内容的合成方法时,主要依据该动态声谱的特性,具体而言,是根据声谱内容各分量动态变化的独立性和精确性。

如果动态声谱中各分量的变化模式呈现出某种数理规律,如高频、低频分音的有无与某因素成比例变化;分音振幅呈线性、非线性曲线衰减时,基本各种合成理论都可以完成该合成目的,但加法合成将耗费过多系统资源,而且操作步骤烦琐,因为必须对每个发生单元进行独立控制。

当动态声谱中各分量的变化模式不具备某种数理规律,甚至具有随机性时,具有独立性和精确性的加法合成,在这种情况下是最佳的选择。某种意义上说,也只有加法合成才可以完成这样的工作,因为其它合成原理很难做到独立精确地控制声谱中单个分量的动态变化。

总之,在独立使用合成原理进行以目的声谱为声音合成目标的实践时,一定要结合不同合成原理的长处,根据目的声谱的特点,选择合成原理的类型。

2. 综合应用

综合应用合成原理,可以体现在声音合成的各个步骤中,包括获得静态声谱、动态声谱以及后音色修饰。

A. 获得静态声谱

在进行声音合成的实践中,不必拘泥于某一种合成原理,可以将多种合成原理综合起来应用,灵活的完成获得静态声谱的工作。见图 7.1.02 综合应用合成原理获得静态声谱示意图:

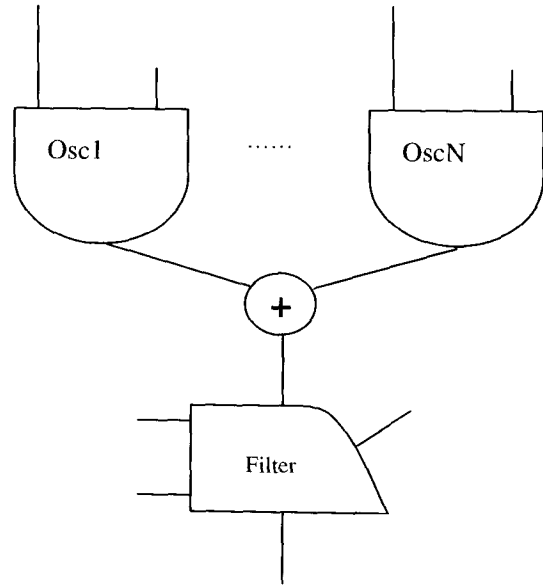


图 7.1.02 综合应用合成原理获得静态声谱示意图

图 7.1.02 中振荡器 Osc1 至 OscN 的输出信号被相加起来，这显然是加法合成原理获得静态声谱的方法；相加后的信号经过滤波器处理，显然是减法合成原理获得静态声谱的主要方法。图 7.1.02 所示为综合利用加法合成与减法合成原理获得静态声谱的方法。

本书第三章至第六章的音色合成实践中，大量采用了合成原理的综合应用，以获得静态声谱，见表 7.1.07 本书音色合成实例中获得静态声谱合成原理综合应用情况：

章节	实例名称	所采用的合成原理
第四章第 1 讲	减法合成双簧管音色	加法、减法
第四章第 4 讲	减法合成弦乐音色	加法、减法
第四章第 5 讲	减法合成风琴音色	减法、加法
第四章第 6 讲	减法合成铜管音色	加法、减法
第四章第 7、8 讲	减法合成电钢琴音色	加法、减法
第五章第 2 讲	FM 合成军鼓音色	FM、加法
第五章第 6 讲	FM 合成单簧管音色	FM、加法
第六章第 3 讲	共振峰合成合唱音色	共振峰、加法、减法
第六章第 4 讲	声码器合成“魔鬼”音色	声码器、减法

表 7.1.07 本书音色合成实例中获得静态声谱合成原理综合应用情况

本书中许多音色合成实例中，采用了两种合成原理综合应用的方式获得静态声谱。如减法合成风琴音色(第四章第 5 讲)时，不同的分音振荡器，都分别先按照减法合成的原则，

经滤波器减去不需要的分音成分，再按照加法合成的原理，将处理后的振荡器信号相加，获得静态声谱的(见图 4.5.01)。再如减法合成双簧管、弦乐、铜管和电钢琴音色(第四章第 1、4、6、7 和第 8 讲)时，分别按照加法合成原理获得基本声谱，然后按照减法合成原理，通过滤波器对声谱进行修饰，获得相应音色的静态声谱。

个别情况时，可以通过多种合成原理的综合应用，达到合成目的，如本书第六章第 3 讲，共振峰合成合唱音色的实践中，综合了共振峰、加法和减法三种合成原理的应用。

通过声码器进行声音合成的实践时，由于声码器可以采用任何合成原理合成的声音作为声源，因此理论上，声码器可以和任意合成原理组合，进行声音合成原理综合应用。

B. 获得动态声谱

本章中，我们已经对各种合成原理获得动态声谱的特点进行了总结，在声音合成实践中，同样可以根据目的声谱的特点综合利用不同合成原理，见图 7.1.03 综合应用合成原理获得静态声谱示意图：

如图 7.1.03 所示，通过包络发生器 Env1 对调制振荡器振幅的控制，已经根据 FM 原理获得了声谱内容随时间的变化；通过包络发生器 Env2 对滤波器截止频率的控制，又根据减法合成原理，获得声谱内容随时间，在其它层面上的进一步变化。也就是说图 7.1.03 所示为 FM 与减法合成原理在获得动态声谱上的综合应用。

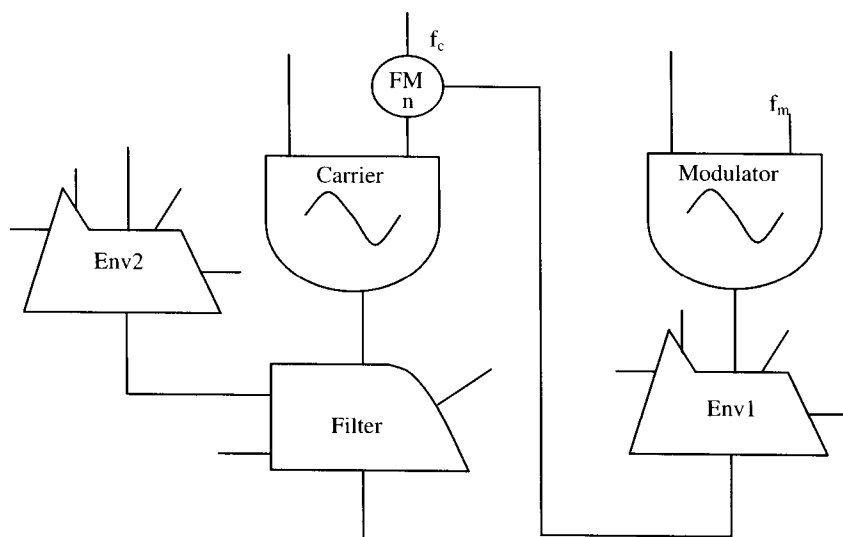


图 7.1.03 综合应用合成原理获得动态声谱示意图

本书第四章第 7 和第 8 讲，减法合成电钢琴音色中，就综合应用了加法合成与减法合成原理不同的获得动态声谱内容的方法。参见图 4.7.01。首先高频分音振荡器 Osc2 和 Osc3 按照加法合成原理，通过包络发生器 AD3 和 AD4 分别获得了分音振幅随时间的变化；与此同时，基频振荡器与高频分音振荡器的输出信号相加后，经过滤波器 LP，在包络发生器 ADSR2 和其它因素对其截止频率的影响下，按照减法合成的原理随各种因素产生声谱内容的变化。

C. 后音色修饰

在后音色修饰方面，由于本身各合成理论获得后音色修饰的方法基本相同，因此，大多数情况下，无需通过综合应用各种音色合成理论进行音色的后音色修饰工作。

不过，各种音色合成理论的综合应用，在对音色进行后音色修饰方面还是有用武之地的。见图 7.1.04 综合应用合成原理进行后音色修饰示意图：

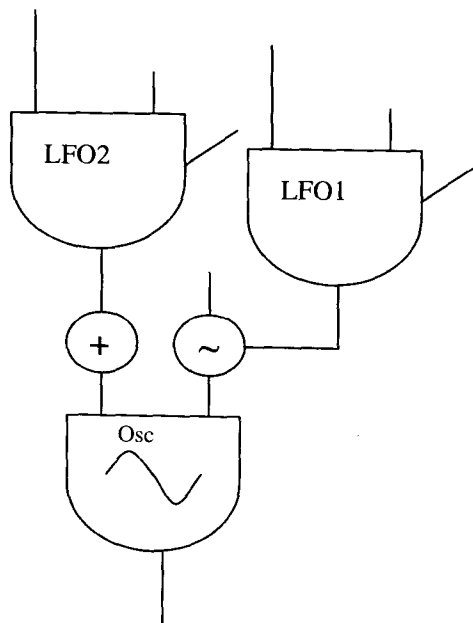


图 7.1.04 综合应用合成原理进行后音色修饰示意图

如图 7.1.04 所示，根据各合成原理通用的方法，利用 LFO1 对振荡器音高的调制，获得颤音效果；同时，LFO2 的输出信号与振荡器的振幅相加，对振荡器进行振幅调制，如果 LFO2 的速率合适的话，相当于根据 AM 的原理为音色添加的震音效果。

大多数情况下，综合使用多种合成原理，可以事半功倍地完成声音合成任务。在某些情况下，或因为合成原理本身的局限性，或因为目的声谱的特殊性，对某些音色而言，只有通过合成原理的综合应用，才能完成该音色的合成任务。如本书第六章第 3 讲，就需要通过综合应用加法合成、减法合成以及共振峰合成等多种合成原理的综合应用，才能以最节省资源的方式，完成合唱音色的合成任务。

思考题：

- 一. 分析加法合成与其它合成方法相比，在获得声源方面的差异性。
- 二. 试总结滤波器的主要作用。
- 三. 试总结包络发生器的主要作用。
- 四. 试总结低频振荡器的主要作用。
- 五. 举例说明合成方法的综合应用。

第2讲 发挥音色想象力

在声音合成与制作中,除了要根据需要合理应用各种合成理论外,具有音色想象力是至关重要的。

一、在常规音色合成方法中发挥想象力

这里,让我们通过合成本书中最后一个音色——电话铃声,以实践方式体会在常规音色合成方法中发挥想象力的作用。

执行 GP11^①做好系统准备;执行 GP15 关闭目前所有音色窗口;执行 GP12 新建一音色,目标声部: A。

调用振荡器:

操作 A: 执行 GP01 调用主振荡器 *OscB*^②。

调用包络发生器:

操作 B: 执行 GP01 调用包络发生器 *ADSR-Env*。

设置包络发生器参数:

操作 C: 执行 GP05 将包络发生器 *ADSR-Env1* 的触发时间参数 *A* 和 *R* 分别设定为 6.1 毫秒和 6.1 毫秒。

调用键盘输入模块:

操作 D: 执行 GP01 调用键盘输入模块 *Keyboard*。

触发包络发生器:

操作 E: 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 黄色方形逻辑输出 *Gate*;
目标端口: 包络发生器 *ADSR-Env1* 黄色圆形逻辑输入 *Gate*。

调用音频输出模块:

操作 F: 执行 GP01 调用音频输出模块 2 *outputs*。

获得音色力度随时间的变化:

操作 G: 执行 GP03 连线, 起始端口: 主振荡器 *OscB1* 红色方形音频输出; 目标端口: 包络发生器 *ADSR-Env1* 红色圆形音频输入。

操作 H: 执行 GP03 连线, 起始端口: 包络发生器 *ADSR-Env1* 红色方形音频输出; 目标端口: 音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 *L*。

操作 I: 执行 GP03 连线, 起始端口: 音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 *L*;
目标端口: 音频输出模块 2 *outputs1* 红色圆形音频输入 *R*。

获得音色力度随演奏力度的变化:

操作 J: 执行 GP03 连线, 起始端口: 键盘输入模块 *Keyboard1* 蓝色方形控制输出 *Vel*;
目标端口: 包络发生器 *ADSR-Env1* 蓝色圆形控制输入 *Amp*。

① 有关编号为 GP# 的全局操作的具体步骤请参阅本书阅读指南。

② 使用斜体字表示的内容为 Nord Modular 中的模块名称或参数名称。

调用低频振荡器：

操作 K：执行 GP01 调用低频振荡器 *LFO1*。

设置低频振荡器频率参数：

操作 L：执行 GP05 将低频振荡器 *LFO1* 的速率参数 *Rate* 设定为 12.2Hz。

设置振荡器的音高调制量：

操作 M：执行 GP05 将振荡器 *OscB1* 的音高调制量 *Pitch*(左)设定为 50。

获得音色周期性音高变化：

操作 N：执行 GP03 连线，起始端口：低频振荡器 *LFO1* 蓝色方形控制输出；目标端口：振荡器 *OscB1* 音高调制蓝色圆形控制输入(左)。

这时，各模块之间关系见图 7.2.01 电话铃步骤 1：

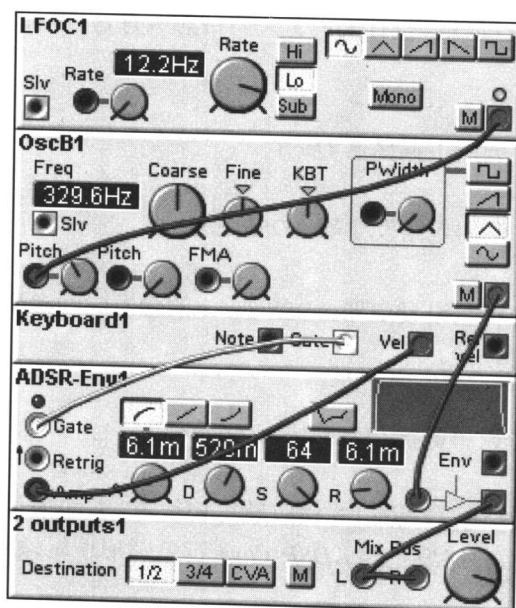


图 7.2.01 电话铃步骤 1

读者也可以通过执行 GP13，文件名：Telephone01.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

在电子音色合成与制作中，低频振荡器对发声振荡器音高的调制目的，往往是为了获得目的音色周期性的音高变化，如颤音等。本例中也是这样，我们按照常规的声音合成方法，完成了一个带有周期性音高变化的正弦波音色。至此，离我们的目的音色其实只有一步之遥。

选择低频振荡器波形类型、获得电话铃音色效果：

操作 O：点击低频振荡器 *LFO1* 中标有方波图形的按钮  (默认状态为关)，将其变

为这个状态： (激活方波)。

这时，各模块之间关系见图 7.2.02 电话铃步骤 2:

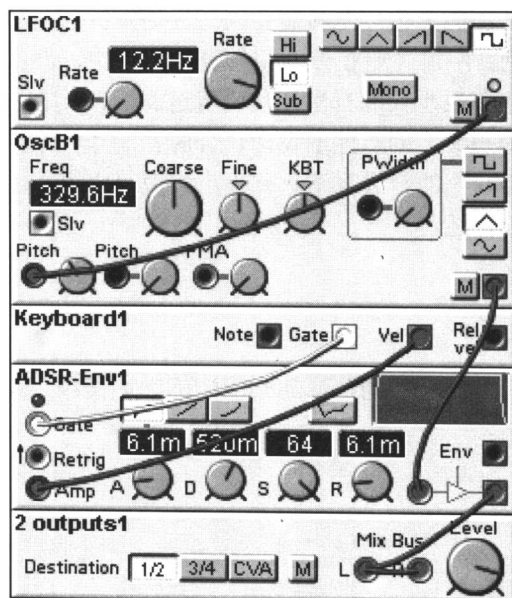


图 7.2.02 电话铃步骤 2

读者也可以通过执行 GP13，文件名：Telephone02.pch；目标声部：B，读取演示音色进行参考。

经过操作 O，低频振荡器的默认波形被设定为方波，这导致发声振荡器的音高变化曲线将不按照正弦特性，而是按照方波的特性变化。结果音色发生了质变——我们日常生活中耳熟能详的电话铃声展现在我们面前。如果不是对获得周期性音高变化的常规方法进行如此有想象力的应用，我们现在已经习以为常的电话铃音色，或许就不是现在这个样子了。

二、创造性的音色想象力

完成本书第三章第 7、第 8 讲中的“合成领奏”音色的合成与制作，就需要一些创造性的音色想象力。建议操作如下：

操作 A：执行 GP15 关闭所有音色窗口。

操作 B：执行 GP13 读取演示音色，文件名：SynthLeed04.pch；目标声部：A。

操作 C：执行 GP13 读取演示音色，文件名：SynthLeed07.pch；目标声部：B。

操作 D：选择声部 A，按不同音高演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图，记住其音色感觉与声谱图形状。

操作 E：选择声部 B，按不同音高演奏该音色并通过频谱仪观测其声谱图，与操作 D 进行比较。

通过创造性的发挥音色想象力，给声部 A 中的音色添加延时效果，才能获得音色质地更丰满的声部 B 中的音色。其实，经过富有想象力的加工，不仅使合成领奏的音色质地发生变化，同时带给人们的听觉感受——音色的“味道”也完全不同了。

对一些自然界中不存在的音色，尤其需要创造性地发挥音色想象力。如本书第三章第 6 讲合成的宇宙飞船音色。宇宙飞船在外太空的真空环境中，严格说，其飞行是不能产生声音的；即使有声音，相信很少人能有幸亲耳聆听过。因此，在进行这样声音的合成时，完全要根据我们对音色的想象，创造性地设计、合成并制作一个声音。至于，本书中如何根据想象，制定宇宙飞船音色的合成方案，并逐步实现等内容，由于第三章第 6 讲中已经详细介绍过，这里就不再赘述。

练习题：

试根据所掌握的合成知识，创造性地合成你心目中的电话铃声。

第3讲 音色认知讨论

当我们掌握了一定的声音合成技术,知道如何通过各种声音合成理论,合成一定类型的音色以后,如何将音色合成技术有效并良好地应用于音乐创作,成为一个重要的课题。

第一节 制作使用个性化的音色

艺术作品的独创性是衡量其生命力的重要指标,而个性化正是保证艺术作品具有独创性与否的必要条件之一。在音乐作品、甚至音色创作中也不例外,制作个性化音色是我们进行创作的首要步骤。

制作个性化的音色,其中“个性化”的含义当然首先包含与众不同的意思。但并不意味着只要和别人不一样,就一定是好的个性化表现。我们更强调个性化的音色与音乐表达之间高度的统一性。也就是说,这里的“个性化”还包含以下含义:根据每个人对音乐的不同理解,在各个层面选择使用相适宜的音色。建议大家以音乐创作为出发点,至少从以下两个方面考虑制作个性化音色的问题。

一、不同作品中个性化音色的体现

如何在不同作品中应用不同的乐器音色,这是配器学的主要内容,并不在本书讨论之列。我们这里主要讨论如何使不同作品中的同类音色,甚至相同音色具有个性化的体现。

1. 同类音色的个性化体现

如果以交响乐队为例的话,从表面上看,某交响乐团无论演奏什么作品,如果演奏员不变,演奏乐器不变的话,似乎乐队中各类音色都应该是一样的。事实上绝非如此!如果是这样的话,柏林爱乐乐团演奏的斯特拉文斯基的《春之祭》和施特劳斯的《春之声》将是一个味道,这岂不是滑天下之大稽!?

显然,在实际音乐生活中,不同作品中同类音色具有非常大的差异。让我们以交响乐队的弦乐类音色为例进行分析:交响乐队在演奏不同作品时,从总体上说,指挥家对演奏家的音色表现是有着不同的要求的;从具体实施的角度看,由于弦乐类音色是由许多演奏家一起演奏得到的,因此每时每刻,随着每个演奏家在演奏每一个音符时,音高、力度、颤音深度、运弓位置的不同所导致的音色差异,严格地讲,弦乐类音色时刻在发生变化。

在电声乐队中,演奏不同作品时,同类音色具有相当的差异性,较之传统交响乐中有过之而不及。大部分电声音乐作品相对宏大的交响乐来说,所表现的内容要单纯得多。因此,同类音色的差异性就显得格外重要。以电声音乐中的贝司类音色为例,爵士乐中的贝司、摇滚乐中的贝司、电子舞曲中的贝司音色不仅音色迥异,甚至各自的音色特质已经成为不同音乐风格的象征。大家如果留意仔细听辨的话,即使同类型电声音乐,不同作品中的贝司音色也相去甚远。

由上,不同音乐作品中,同类音色之间存在着巨大差异。我们在音色合成时,应该根

据个人对作品的理解,合成制作、使用与该作品最相适宜的音色。

2. 相同音色的个性化体现

现在我们将讨论范围缩小,聚焦在不同作品中相同音色的问题上。对于不同作品来说,相同音色也具有很大的音色差异,例如不同音乐作品中的萨克斯风。很难想像爵士乐作品和肯尼 G 的抒情萨克斯音乐中的萨克斯,是一个音色表现。当你邀请一位有经验的萨克斯演奏员演奏这两种不同的音乐作品时,有条件的话,他一定首先会选择带两只,甚至更多只萨克斯乐器,如一只中音萨克斯和一只高音萨克斯;如没有条件,或不需要更换乐器时,演奏家也会根据音乐作品的不同,通过控制嘴唇与哨片的位置、气息等,以性格迥异的音色来演奏不同的作品。

根据上面的分析,不同音乐作品中的相同音色也具有很大的差异性。因此,我们在合成音色时,即使不同音乐作品所使用的乐器相同,也必须根据个人对作品的理解,合成音色特质不同的音色的同时,还可以通过演奏控制等手段,使相同音色具有不同的表现力。

二、相同作品中不同阶段个性化音色的体现

下面让我们将讨论范围再缩小到相同作品中,看一看相同作品不同阶段时,同类音色甚至相同音色的个性化体现问题。

1. 同类音色的个性化体现

在同一首音乐作品中,往往根据不同阶段所表达的内容、情绪等因素的不同,在同类音色中,有区别地选择具有不同特质的音色。让我们以歌曲中架子鼓的应用为例,分析一下相同作品中,同类音色的差异性。

假设有一首歌曲作品,其曲式结构为 A—B。A 段表达的情绪比较舒缓,在整个作品中起铺陈作用;B 段表达深情的情绪,是整个作品的高潮所在。在为这样一首作品选择架子鼓时,往往 A 段与 B 段所使用的架子鼓音色不同。A 段可能会使用 808 或 909 那样的电子鼓,而 B 段则会选择在音质和力度上都比前者厚重的架子鼓音色,即使不更换整套架子鼓,也会在个别音色如底鼓、军鼓上进行音色对比。

不仅仅是打击乐器,在同一首音乐作品不同阶段中,各类音色往往都具有一定的差异性。因此,我们仍旧需要根据自己对音乐的理解,为同一首作品的不同阶段,合成制作与使用不同的音色。

2. 相同音色的个性化体现

现在我们将制作个性化音色的讨论,聚焦在相同作品,相同音色这样小的范围内,以更微观的角度,看一看音色的个性化体现。

在同一首乐曲中,同样的乐器根据音乐的发展,在不同阶段需要一定的音色差异。让我们以谱例 7.3.01 中所示钢琴片断为例,分别以同一钢琴音色,在相应阶段时,对音色进行修饰和不修饰两种方法演奏该片断,分析一下相同音乐不同阶段,相同音色的差异性带给音乐的不同表现。

大家可以播放文件名为 PianoUnmodified 的示范曲音频文件,该示范曲是由任何阶段都未经任何附加修饰的钢琴音色演奏的谱例 7.3.01 中的音乐。从音响中可以反映出,该示范曲完全按照谱中标记的要求,体现了音乐所需的强弱、速度变化。虽然根据谱中要求,第 12 至 14 小节处做了渐强处理,但由于音色本身变化比较小,使这短短的增长显得不够

力度，并且最强 *ff* 处(第 14 小节第 1 拍)与比较大的力度反差 *mf*(第 14 小节第 3 拍)，这两处的音色对比、反差不够大。

程伊兵 (Perry Cheng)

$\text{♩} = 105$

Piano

4 *mp* *p* *mp*

pp

7 *mf* *p* *mp*

10 *mf*

13 *ff* *p*

16

谱例 7.3.01

为改善演奏效果,我们在该曲第12至14小节时,对同一个钢琴音色进行了音色修饰。文件名为 PianoModified 的示范曲是经过上述修饰处理后演奏的谱例 7.2.01 中的音乐。比较文件名为 PianoUnmodified 和文件名为 PianoModified 的示范曲中可以听到,后者(经过修饰)小节12至14出的音色明显比前者(未经修饰)明亮一些,在突出了音乐力度增长的同时,加强了与后面弱力度的音色对比,使音乐表现更具层次。

之所以两个示范曲带给我们不同的听觉感受,是因为一个是未对音色进行任何修饰,而一个是根据需要,在音乐的不同阶段对音色进行的修饰。见图 7.3.01 根据不同阶段修饰及不修饰钢琴音色演奏相同音乐声谱瀑布示意图:

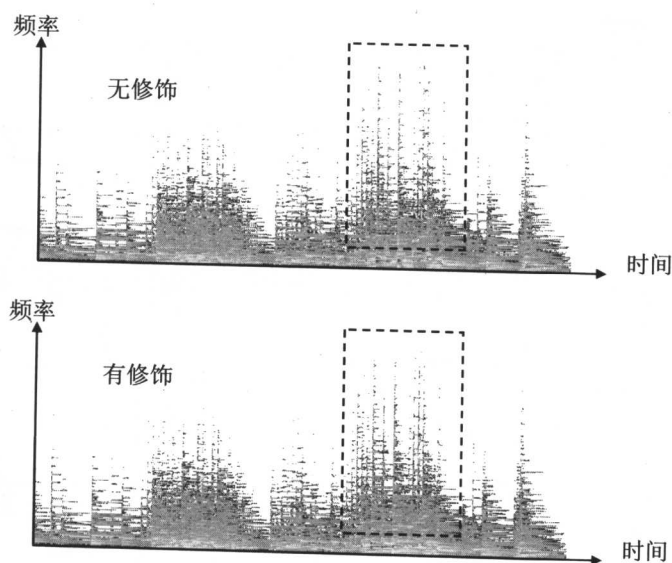


图 7.3.01 根据不同阶段修饰及不修饰钢琴音色演奏相同音乐声谱瀑布示意图

图 7.3.01 上图所示为演示曲 PianoUnmodified(未经任何音色修饰),下图为演示曲 PianoModified(经过音色修饰)的声谱瀑布示意图。注意比较上下两图被虚线框里的内容,下图高频分音要比上图多一些,且下图,中频分音占有声学能量较上图少的同时,中频分音的衰减时间也比上图的短。这表明,下图经过音色修饰后,该阶段的音色表现要比上图显得明亮。

通过以上实例分析,我们得知即使在同一首音乐作品中,相同的音色也应该根据不同阶段进行音色变化。我们在进行音色合成及使用时,也应该将这些因素考虑进去,才能得到完美的音乐音响效果。

在创作中,各人对音乐的理解和对表现手段的选择是仁者见仁,智者见智的事,因此,只要我们在考虑音色的制作和使用时,精确到音乐的每一个细节,甚至每一个音符的表现,就一定能够保障音色的个性化体现。当然,所表现出的个性化体现是好还是坏,属于另一层面的美学讨论,这里不再展开。

第二节 音色认知的拓展

本节中我们将从电子乐器全新的演奏法；音色认知的拓展等方面，继续讨论声音的合成与应用。

一、全新的演奏法

无论对传统交响乐还是现代电声音乐而言，乐器的演奏法是我们在学习配器学时必须了解和掌握的内容。电子声音合成带给我们全新的空间，我们必须重新认识一下有关演奏法的内容，首先从常规乐器演奏法的拓展开始。

1. 拓展常规乐器的演奏法

对常规乐器而言，乐器的演奏法不外乎是关于通过什么样的演奏工具、演奏动作，可以带来什么样的音高、力度和音色变化等内容。电子乐器合成在演奏法方面对常规乐器的拓展首先表现在演奏工具与方法的拓展。

A. 演奏工具和方法的拓展

电子合成音色在演奏工具和方法上的拓展首先表现在演奏工具和方法的多样性上。我们在演奏传统声学乐器时，或直接通过手指、掌、口等部位，或借助指甲、鼓槌等工具，演奏方法不外乎弹、拨、击、吹等。电子声音合成系统，借助各种外部控制器^①，不仅可以通过上述工具或方法进行音色的演奏，同时还可以通过旋钮、推子、甚至计算机键盘和鼠标来演奏音色。

其次，电子合成音色在演奏工具和方法上对传统乐器的拓展，还表现在演奏工具和方法与音色之间关系的脱离。举例而言，我们通过 MIDI 键盘，既可以弹奏出各种键盘类电子音色，也可以“弹”奏出口琴、打击乐等在传统乐器领域，必须通过特定演奏工具和方法才能获得的音色。

B. 演奏内容的拓展

由于电子声音合成是在算法级别上对声音进行控制，因此相对传统乐器而言，演奏法可以控制的内容上有极大的拓展。首先表现在可以给音色增加一些特殊的音色变化。

运行媒体播放工具，打开文件名为 PlayPianoIn2Way 的声音文件。该演示曲中，前半部分(2 拍休止之前)为按照普通方式演奏的钢琴音色，后半部分(2 拍休止之后)是通过电子方式的演奏法演奏的钢琴音色。普通演奏法演奏的钢琴音色，除了按音型进行力度变化以外，音色本身的变化不大；而按照电子方式演奏的钢琴音色，每次音型的开始音色与结束音色有着非常大的区别。音型开始的音色带有很多的钢琴榔头以及钢琴键的侍服系统带来的“噪声”，而音型尾部是典型的钢琴音色。同时，这两种音色的转换过程是渐变的。从声谱瀑布图中可以“看”到这种音色的变化。见图 7.3.02 普通演奏法和电子演奏法演奏的钢琴音色声谱瀑布示意图：

^① 关于 MIDI 控制器参见拙著《MIDI 全攻略——MIDI 技术理论与实践》第五章第二节中有关录入器材的内容。

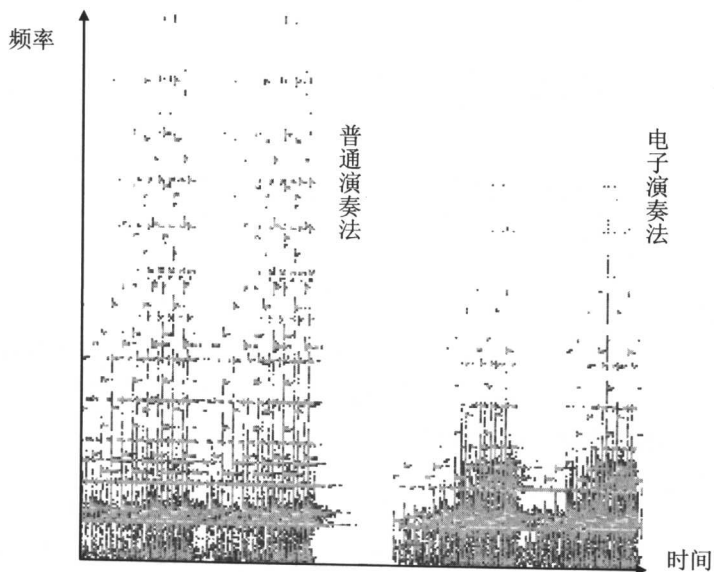


图 7.3.02 普通演奏法和电子演奏法演奏的钢琴音色声谱瀑布示意图

其次，电子合成对传统演奏法在演奏内容方面的拓展还体现于不同音色之间的转换。正因为电子音色合成是在算法级别上对音色进行控制，因此只要算法容许，通过外部控制器或旋钮，甚至键盘鼠标等，就可以实现不同音色之间的实时音色渐变(Morph)。例如上例中音型的不同阶段钢琴音色的变形。再比如，我们还可以根据音乐需要，开始使用一个电子合成的钢琴音色演奏某音乐，随着音乐的进行，通过上述控制工具，可以不知不觉地将演奏着的音色变形为弦乐音色！通过电子演奏方法实现的实时音色渐变，是通过传统演奏方法演奏传统声学乐器时，不可能达到的全新的演奏法拓展效果。

2. 演奏法自身定义的拓展

对于自然乐器和电子乐器，演奏法这一概念的内涵与外延是不同的。

A. 自然乐器

在传统意义上，对于自然乐器而言，音乐家一般不会关注与乐器制造相关的内容，而乐器制造恰恰相当于自然乐器的声音“合成”部分。换言之，我们一般不关注自然乐器的声音“合成”过程，而主要关注如何使用、演奏自然乐器的方法。因为对于自然乐器而言，一般情况下如果没有演奏动作发生的话，该乐器是不会自主发出声音的。声音的“合成”——乐器制造与演奏是被分开来考量的。

B. 电子乐器

在电子音乐和计算机音乐领域，音乐家们不仅要关注如何演奏一个音色，在此之前，我们还必须关注乐器音色本身的产生问题。由此，声音合成方法与演奏法是一起被关注的。实际上，声音合成方法与乐器演奏法，在概念上有融合和互换的现象，让我们通过实例，体会电子音色合成方法与演奏方法的互融互换现象。

上文在介绍传统演奏法在演奏内容上的拓展上时，我们曾以普通方式和电子方式演奏的钢琴音色为例，见图 7.3.02。该例中，电子方式的演奏法，是通过实时改变具有较大共振值的滤波器截止频率实现的。改变滤波器的共振和截止频率参数，完全是声音合成的重

要手段。该例体现出声音合成方法与乐器演奏方法的融合现象。

再例如，大家可以通过媒体播放工具，播放文件名为 Oh 和 Oh_FM 的电子声音文件进行比较。Oh 是原始声音的数字文件，音色感觉是模仿人声的；Oh_FM 是经过 FM 调制处理后的原始声音。经过比较我们可以发现，经过 FM 调制后的原始声，不仅发生了音色上的变化，甚至发生了音高上的变化！而这样的变化，一般来说只有通过“演奏”才能实现。FM 作为一种声音合成方法，不仅能够完成音色合成的任务，甚至还可以完成传统意义上“演奏”的任务。这里，与其称 FM 为合成方法，不如称其为演奏方法。在本例中，声音合成方法与乐器演奏方法产生了互换。

对于电子合成音色来说，演奏法相对于传统乐器的演奏法，已经发生了质的变化，对其的理解和运用都要打破旧有的思维模式，按照电子合成的特性及音色本身具有的表现力，来寻求自身的演奏法规律。

二、音色认知的拓展

由于传统音乐中，如何在音乐创作中使用音色这一问题的看法，已经发展得非常成熟。当我们不自觉地以传统音色观看待电子合成音色时，难免会出现一定的误区。

1. 音色认知上的误区

经常听初接触电子音乐和计算机音乐的音乐工作者这样说：电子合成的音色很差，一点儿也不像……；或者电子合成的音色中有许多没用的声音等等。虽然这样说是有一定道理的，但其实有失偏颇。到底应该如何看待电子乐器中的声音呢？让我们先从分析形成如上观点的原因入手。

持如上观点的原因不外乎两个方面。其一，从理论层面上看，电子乐器作为制作音乐的重要工具，在功能上应该完成什么是值得我们认真思考的。从第一台电子乐器——重约 200 吨的电子风琴，到第一台 FM 数字电子乐器——YAMAHA 的 DX7，至现在具有丰富声音的各种合成器、音源来看，的确，成功的模仿自然声学乐器一直是电子乐器孜孜不倦地努力完成的目标之一。采样技术、物理仿真模型等技术的诞生，使得电子乐器在模仿自然声学乐器方面有了长足的进步。由此出发，音源中的声音如果不像某某自然乐器，当然就不是好声音了。

其二，从应用层面上看，某乐器的应用与音乐形式有着密切的关系，如果不知道该音乐形式，当然不会理解构成他们的乐器的作用。首先，某乐器与某种音乐形式具有约定俗成的对应关系，这种情况下，不了解该音乐形式，就很难理解该乐器的用途。例如对电声音乐了解很少的人就很难理解本书中曾合成的“合成领奏”^①这种声音是做什么的。又或对某种音乐没有深入了解的情况下，也可能对乐器的用途产生质疑。例如对流行音乐了解不深的人就很难理解爵士鼓中立镲、踩镲以及开、闭镲这些声音之间的关系以及具体应用方式。其次，当某乐器不具备与某种音乐形式固定的对应关系时，就更容易使我们对该声音的实用性划上问号了。例如本书中合成过的，许多电子合成器中都有的音色——宇宙飞船声^②。

由上，认为电子乐器的唯一目的应该是模仿自然声学乐器和对某种音乐形式的陌生，

① 参见第三章第 7、8 讲

② 参见第三章第 6 讲

是造成“电子合成的声音很差，一点儿也不像……”；或者“电子合成的音色中有许多没用的声音”等观点的主要原因。

2. 音色认知的拓展

经过本书音色合成的学习，我们知道，电子乐器是通过对电子振荡进行各种算法的调制从而产生声音的。这意味着从理论上说，通过电子合成方法可以合成乐器、非乐器；自然或非自然的任何一种声音。认为电子乐器的唯一目的应该是模仿自然声学乐器的观点，显然过于片面了。我们如今耳熟能详的各种 PAD 和所谓宇宙声是对这一观点的有力反证。

另一方面，由于自己不会使用而断言该声音没有用，这显然过于偏颇。因为事实上不是它无用，而是我们不知道怎样使用。同时，这也不是一个具开拓精神、富于创造力的音乐家应该持有的态度。试想如果小提琴刚刚诞生时，所有的作曲家都认为这种乐器的声音“没有用”，没有作曲家根据小提琴音色的特点进行音乐创作，就没有我们今天所熟悉小提琴音乐。再者，中国文化中推崇的“法无定法”这一辩证原理，同样适用于音乐创作中的音色应用。在常识上，噪声是区别于乐音的，没有用的声音。可失真吉他的音色作为音乐化的噪声，已经被我们所熟知。足见，只要运用得当，任何声音在音乐家手中，都能变成音乐。

持有这样拓展了的声音观，我们在音乐创作中就会自由得多。目前，在电声音乐中是否拥有独特的声音几乎已经成为衡量该音乐好坏的基础标准之一，我们应当通过声音制作本领强大的电子乐器制作全新的声音，从而创作令人耳目一新的音乐。

总之，只有遵循制作使用个性化音色的原则；拓展电子合成音色在合成、制作、演奏等各个应用方面的内涵，才能保障音乐作品创作的质量，以及开拓出自由的创作空间。

思考题：

- 一. 可以从哪些方面注意制作使用个性化音色这一命题？
- 二. 试比较电子乐器演奏法与传统演奏法的异同。
- 三. 谈谈你的声音观。

练习题：

- 一. 借助视听设备及频谱仪，分析不同作品中同类及相同音色的差异。
- 二. 借助视听设备及频谱仪，分析相同作品中同一音色在不同阶段的差异。

第4讲 电子合成音色的审美特性

一、“无乐器”法则

所谓“无乐器”法则是指：摒弃传统乐器的分类和应用中，对音色的诸多界定，以普遍的声音概念来看待一切音色，并将声音本身应用到现代音乐，特别是电子音乐和计算机音乐的创作、思考中的法则。

首先，从音色合成层面，其一，电子合成音色是没有界限的。某种意义上说，利用振荡器、滤波器、包络发生器等工具，通过各种声音合成算法，可以合成制作出任何一种，世界上已有的乐器音色和自然界中不存在的声音，对于声音合成系统本身来说，没有必要再规定乐器的界限。其二，电子声音合成对音色的控制，可以指向音色声音物理属性的各个层面，远不是传统的乐器法则可以涵盖的。其三，电子音色合成可以做到音色间的“无缝连接”，如大家已经耳熟能详的声音变形(Morph)功能，证明对于电子音色而言，本身就是无界限的。电子音色合成在实践层面的种种特点，使“无乐器”法则的提出成为必然。

其次，从创作层面，在电子音色合成中引入“无乐器”法则是为适应现代音乐，特别是电子音乐和计算机音乐创作的需要。音乐的本质是有序的声音排列，其目的和作用，都取决于最后的声音音响效果。无论进行传统常规音乐还是现代实验性音乐的创作，一旦使用了电子合成音色，和使用传统的自然乐器相比较，意味着音乐的基石——声音本身被置换了。旧的乐器法则不但在这种情况下显得捉襟见肘，甚至大多数时候会起反作用。这也是很多创作者在刚刚使用电子乐器进行音乐创作时，遇到的第一个瓶颈。因此，引入“无乐器”法则是非常必要的。

当然，作为声音制作与合成的初学者，在学习一些基本方法时，需要借鉴传统乐器法则中的一些规律，这也是本书实践部分所采用的方法之一。当技术和技巧相对成熟，要应用于创作中时，就需要拓宽思路，站在“无乐器”法则的层面来分析声音的应用了。

二、电子合成音色的审美标准

对音色是否悦耳、丰满等等审美上的评价，向来是仁者见仁、智者见智的事；一个电子合成音色是否像某某传统自然乐器、是否好用等，是建立在传统乐器法则之上的标准。这里仅根据电子合成音色的特点，以“无乐器”法则为出发点，对电子合成音色的审美标准提出如下设想：

首先，我们认为，音色的创造性是电子合成音色审美的重要标准之一。主要体现在以下两个方面，其一，该音色是否具有全新的声音质感。着重体现在音乐进行中的音色质感表现，是否具有创新性。其二，该音色的制作中是否创造性地运用了合成技术。在科技飞速发展的今天，技术之美已经成为了美学探讨的重要内容，因此，技术形式美是我们在对电子合成音色进行理解和欣赏时不可忽略的方面。

其次，音色的演奏控制能力，也是电子合成音色审美的重要标准之一。其中包括非实时的控制和实时控制两个方面内容。非实时演奏控制能力，主要是指音色是否能根据需要，进行多层次的音色控制和变化。比如是否可以根据音区、力度控制音色等等。在实时演奏

控制能力方面主要包含,实时控制的响应速度、方便程度等方面的内容。既然是实时控制,控制动作与被控制效果之间的连动,能够在最短时间内发生,比较有利于音乐的实时演奏。方便程度有两层含义,一层指通过实时控制方法控制目的效果的难易度。另一层含义指该实时控制方法与传统乐器实时演奏方法的融合度。毕竟就目前的状况而言,利用大家熟悉的演奏技能,可以事半功倍地达到音色的控制目的。

提出以上对电子音色审美标准的参考性建议,旨在建立有关电子音色审美体系的框架中,起到抛砖引玉的作用。

思考题:

- 一. 试阐述“无乐器”法则。
- 二. 谈谈你心目中电子合成音色的审美标准。

结语

纵观社会发展和音乐发展到今天的历程,音乐家们从来没有面临过这样的两难境地,一方面,他们对传统音乐的理解和创作已成体系,一方面又要面对技术迅猛发展带来的各种未知可能。究竟该如何理解这些新技术,这些新技术又将会怎样地改变现有的音乐形态,音乐家们陷入了仿佛没有答案的思索。

科技发展的速度在以几何级数进行着增长,将人文学科的发展远远抛在后面。当音乐家们面对振荡器、包络、FM 等连串技术名词时,惶惶然不知该将自己所熟悉的音符、旋律、和声等置于何地。其实大可不必如此,只要能正确地了解、掌握、运用这些相关技术,看穿科技的“实质”,就会发现一个全新的创作空间,进而创作出全新的音乐作品,在科学技术所提供的平台下,还音乐的人性面貌。

当技术成为音乐家们的囊中物后,音乐家们还会发现,科技带来的不仅仅是手段的变化,还将带来不同的音乐观、创作观,音乐形态的发展将在其中遇到质的突破,音乐体系也将产生重建的可能。因此,本书着眼于音色合成的理论与实践,意图将艰深刻板的技术诠释得更为深入浅出,希望能为音乐家们踏入音乐科技的世界打开一道缺口,为音乐及人文学科赶上科技的发展助一步之力。当然,还希望在本书这个漫长枯燥的学习过程中,大家能用更客观的立场、更包容的态度、更具拓展性的思路来面对科技与音乐的关系,让科技与音乐“擦出火花”,并产生更眩目的化学效果。

附录一：

音名^①、音符号与频率对照表

音名	音符号	频率	音名	音符号	频率	音名	音符号	频率	音名	音符号	频率
A0	21	27.50	A2	45	110.0	A4	69	440.0	A6	93	1760
A#0	22	29.14	A#2	46	116.5	A#4	70	466.2	A#6	94	1865
B0	23	30.87	B2	47	123.5	B4	71	493.9	B6	95	1976
C1	24	32.70	C3	48	130.8	C5	72	523.2	C7	96	2093
C#1	25	34.65	C#3	49	138.6	C#5	73	554.4	C#7	97	2217
D1	26	36.71	D3	50	146.8	D5	74	587.3	D7	98	2349
D#1	27	38.89	D#3	51	155.6	D#5	75	622.2	D#7	99	2489
E1	28	41.20	E3	52	164.8	E5	76	659.3	E7	100	2637
F1	29	43.65	F3	53	174.6	F5	77	698.5	F7	101	2794
F#1	30	46.25	F#3	54	185.0	F#5	78	740.0	F#7	102	2960
G1	31	49.00	G3	55	196.0	G5	79	784.0	G7	103	3136
G#1	32	51.91	G#3	56	207.6	G#5	80	830.6	G#7	104	3322
A1	33	55.00	A3	57	220.0	A5	81	880.0	A7	105	3520
A#1	34	58.27	A#3	58	233.1	A#5	82	932.3	A#7	106	3729
B1	35	61.74	B3	59	246.9	B5	83	987.8	B7	107	3951
C2	36	65.41	C4	60	261.6	C6	84	1046	C8	108	4186
C#2	37	69.30	C#4	61	277.2	C#6	85	1109			
D2	38	73.42	D4	62	293.7	D6	86	1175			
D#2	39	77.78	D#4	63	311.1	D#6	87	1245			
E2	40	82.41	E4	64	329.6	E6	88	1319			
F2	41	87.31	F4	65	349.2	F6	89	1397			
F#2	42	92.5	F#4	66	370.0	F#6	90	1480			
G2	43	98.00	G4	67	392.0	G6	91	1568			
G#2	44	103.8	G#4	68	415.3	G#6	92	1661			

① 由于乐器制造商的不同，音名的标记方法也略有差异：如有的是从C0至C8，而有的就是从C1至C9等等。具体取值要根据硬件说明中的技术资料确认。

附录二：

音色合成实践所需系统配制建议

在进行本书第三章至第六章各种合成理论的音色合成实践时，需要一定的软硬件支持，现就具体软硬件要求、设置及连接方式建议如下，首先是最简^①软硬件配制建议：

最简系统配制建议

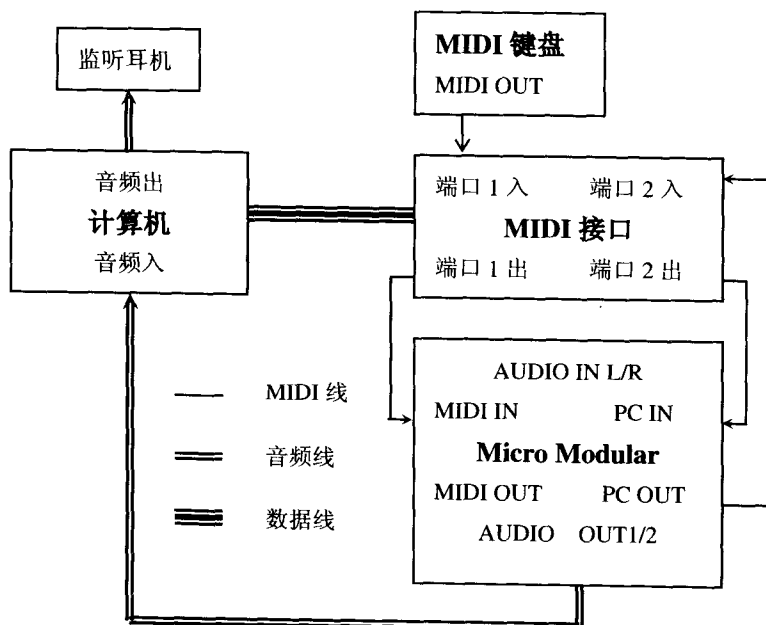


图 A2.0.1 最简系统连接示意图

最简硬件配制：

- 具音频输入能力的 P2 以上 PC 电脑
- 具有两个端口的 MIDI 接口
- Micro Modular
- MIDI 键盘
- 监听耳机

^① 最简系统配制能完成绝大部分的音色合成实践工作，除了第六章第 4 讲声码器合成。同时，可能无法实现所有需要多声部才能实现的的操作，因为最简系统中使用的 Micro Modular 只有一个声部。

最简硬件连接:

就所需最简硬件建议连接方法见图 A2.0.1 最简系统连接示意图:

最简软件配制:

- 音色编辑器(Micro Modular 自带)
- 操作系统: Windows95/98/XP

最简软件设置:

音色编辑器: 调用 Setup/MIDI 中的 MIDI Setup 弹出菜单, 为 Micro Modular PC in 或 out 所使用的 MIDI 端口指定端口设置, 就图 A2.0.1 所示连接为系统中 MIDI 接口的端口 2。

操作系统 : 如果使用 XP 的话, 请选择兼容 Windows95 或 98 方式运行音色编辑器。

有条件的读者可以参考以下理想软硬件建议进行系统配制。

理想系统配制建议

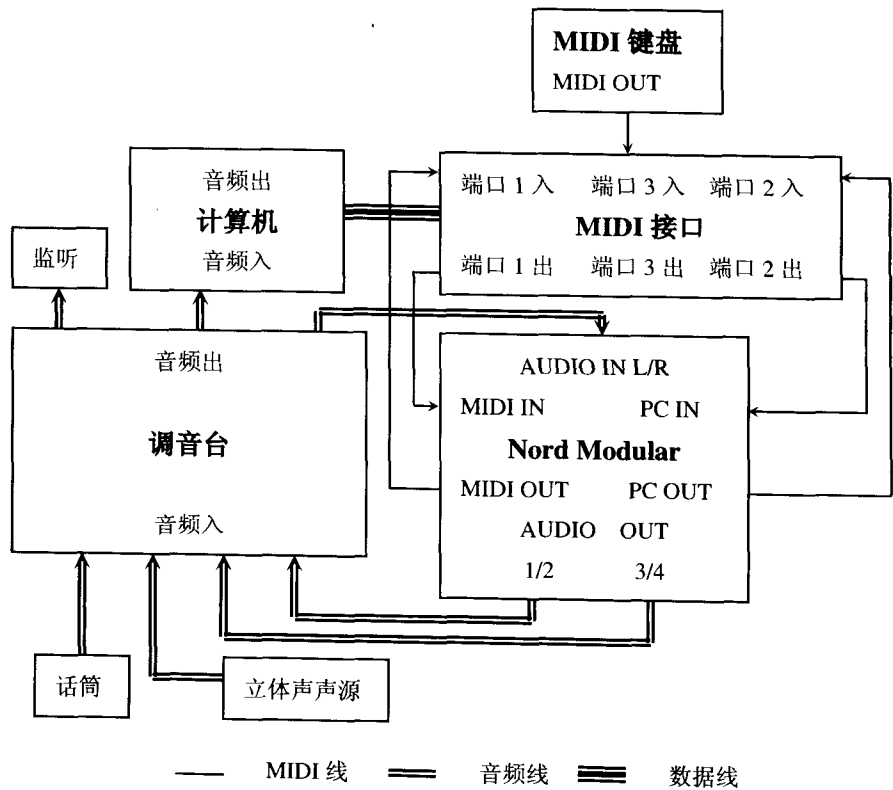


图 A2.0.2 理想系统连接示意图

理想硬件配制:

- 具音频输入能力的 P2 以上 PC 电脑
- 具有三个端口的 MIDI 接口
- Nord Modular
- MIDI 键盘
- 具有 8 路输入能力、具有 AUX 功能的调音台
- 立体声声源播放设备
- 话筒(动圈或电容均可)
- 监听(功放、音箱、耳机)

理想硬件连接:

就所需理想硬件建议连接方法见图 A2.0.2 理想系统连接示意图:

理想软件配制:

- 音色编辑器(Nord Modular 自带)
- 音序器软件
- 频谱仪软件
- 操作系统: Windows95/98/XP

理想软件设置:

音色编辑器: 调用 Setup/MIDI 中的 MIDI Setup 弹出菜单, 为 Nord Modular PC in 或 out 所使用的 MIDI 端口指定端口设置, 就图 A2.0.2 所示连接为系统中 MIDI 接口的端口 2。

音序器软件: 切忌在音序软件的中 MIDI 设备设置, 选择 MIDI 出时, 选择与 Nord Modular PC in 或 out 所使用的 MIDI 端口, 就图 A2.0.2 所示连接, 即不要选择系统中 MIDI 接口的端口 2。

频谱仪软件: 指定计算机所带音频输入硬件为实时频谱方式时的音频入设备。

操作系统 : 如果使用 XP 的话, 请选择兼容 Windows95 或 98 方式运行音色编辑器。

附录三:

全局操作

本书的目的除了介绍音色的基本原理,各种声音合成方法的原理之外,最重要的内容是通过操作实践让大家体会各种声音合成方法和音色之间的关系。因此,在本书第三章至第六章,涉及实践操作部分的内容,采用了教程的方式撰写。

为保证读者只要按照本书实践内容中的规定进行操作,就能够合成出相应的音色,因此特意将每个操作过程都描述得非常详尽。但有些操作是在各个步骤中都会有多次重复,我们姑且称这样的操作为“全局操作(Globe Process,简称 GP)”,如果过多地重复描述同一个操作,不仅占用过多篇幅,更重要的是读者容易失去重点,迷失在复杂的操作过程中。

本附录将本书中进行的全局操作进行了分类,用数字编号后统一列出,读者在音色合成实践中遇到全局操作时,只要查阅本附录,即可获知与该操作相关的具体方法与步骤。下面是各全局操作的具体操作步骤与方法:

GP01: 调用模块

例如在操作过程中见到如下要求:

操作: 执行 GP01 调用主振荡器 *MasterOsc*。

建议具体操作方法如下:

操作方法一:

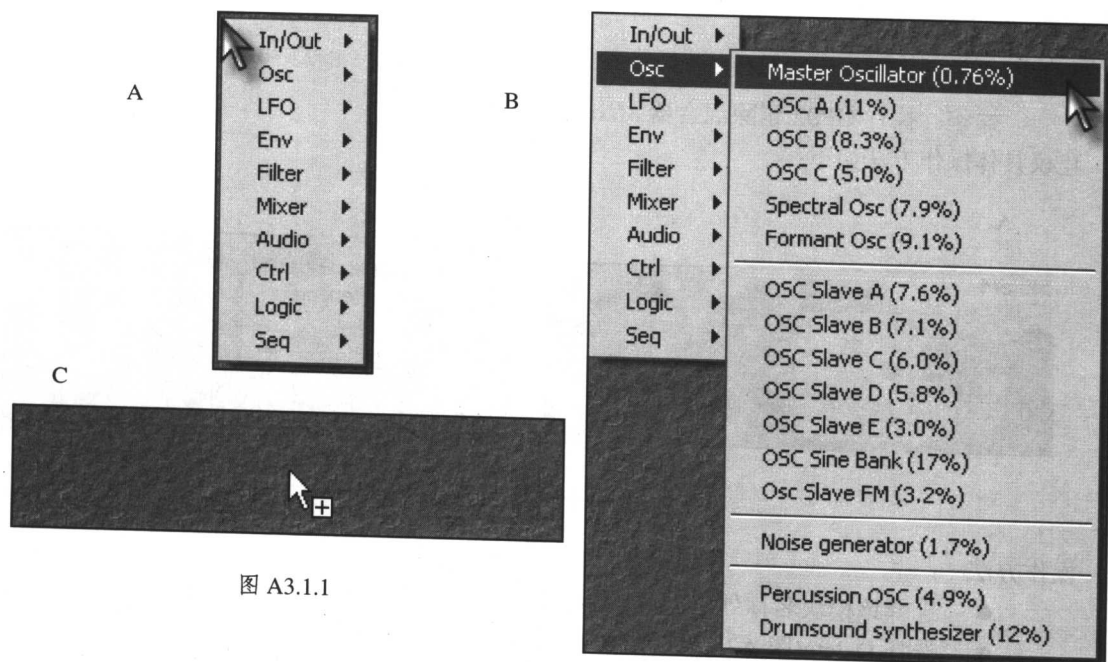


图 A3.1.1

- 在音色编辑器中空白处单击鼠标,激活调用模块菜单(图 A3.1.1A)

- 选择 Osc/Master Oscillator(图 A3.1.1B)单击左鼠标,这时模块调用菜单将自动关闭,鼠标指示会变成一个带“+”号的图标,而且出现一个与被调用模块边界大小相同的线框(图 A3.1.1C)。
- 将鼠标移动至所需位置,单击左鼠标,放置被调用的模块。

操作方法二:

- 在音色编辑器中选择标有 Osc 字样的活页标签(图 A3.1.2A)。
- 选择标有字母“M”的按钮,单击左鼠标,并按住不要放开(图 A3.1.2B)。
- 在不放开左鼠标的前提下,移动鼠标至所需位置,这时鼠标指示会变成一个带“+”号的图标,而且出现一个与被调用模块边界大小相同的线框(图 A3.1.2C)。
- 将鼠标移动至所需位置,单击左鼠标,放置被调用的模块。

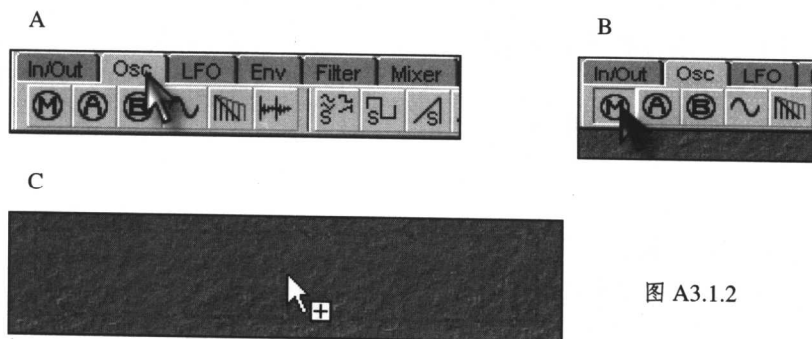


图 A3.1.2

GP02: 删除模块

例如在操作过程中见到如下要求:

操作: 执行 GP02 删除混合器 *Mixer1*。

建议具体操作方法如下:

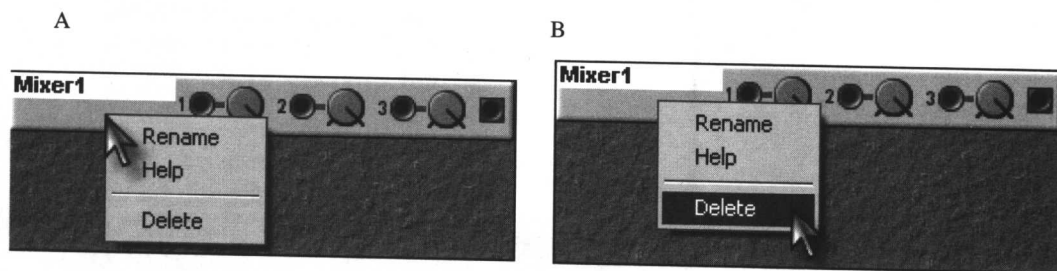


图 A3.2.1

操作方法一:

- 选择该模块名称处单击右鼠标,激活模块右鼠标菜单(图 A3.2.1A)
- 选择 Delete(图 A3.2.1B)单击左鼠标,删除该模块。

操作方法二:

- 选择该模块名称处单击左鼠标(图 A3.2.2)
- 按计算机键盘上的 Delete 键, 删除该模块。

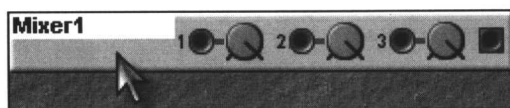


图 A3.2.2

GP03: 连线

例如在操作过程中见到如下要求:

操作: 执行 GP03 连线, 起始端口: 振荡器 *MasterOsc1* 灰色方形 *Slv* 输出; 目标端口: 振荡器 *OscSlvE1* 灰色圆形 *Mst* 输入。

建议具体操作方法如下:

- 选择振荡器 *MasterOsc1* 中标有 *Slv* 的输出端口单击左鼠标不放 (图 A3.3.1A)
- 在不放开左鼠标的前提下, 将鼠标指针移动至目标端口振荡器 *OscSlvE1* 的 *Mst* 端口处(图 A3.3.1B), 松开鼠标完成连线。

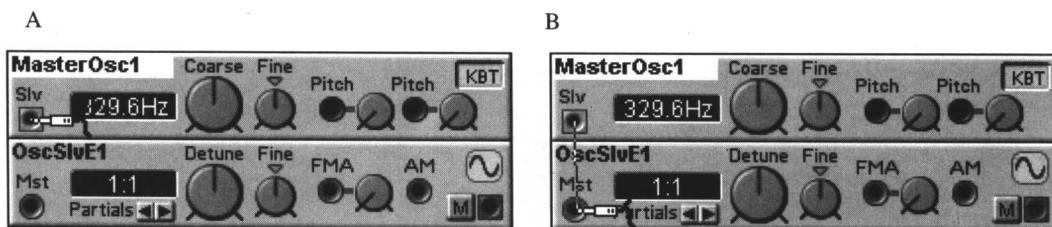


图 A3.3.1

GP04: 去掉连线

例如在操作过程中见到如下要求:

操作: 执行 GP04 连去掉线, 起始端口: 振荡器 *MasterOsc1* 灰色方形 *Slv* 输出; 目标端口: 振荡器 *OscSlvE1* 灰色圆形 *Mst* 输入。

建议具体操作方法如下:

- 振荡器 *OscSlvE1* 的 *Mst* 端口处双击左鼠标不放 (图 A3.4.1), 松开鼠标完成去掉连线的操作。

GP05: 调整参数

例如在操作过程中见到如下要求:

操作: 执行 GP05 将振荡器 *OscSlvE1* 与主振荡器的频率比设定为 2.1199。

建议具体操作方法如下:

- 左鼠标点击 *Partials* 旁边带右箭头的按钮(图 A3.5.1A), 将频率比设置为 2:1。
- 左鼠标点击 *Detune* 旋钮下方带上箭头的按钮(图 A3.5.1B), 将频率比设置为

2.1189。

- 左鼠标点击 Fine 旋钮下方带上箭头的按钮(图 A3.5.1C)，将频率比设置为 2.1189。



图 A3.4.1

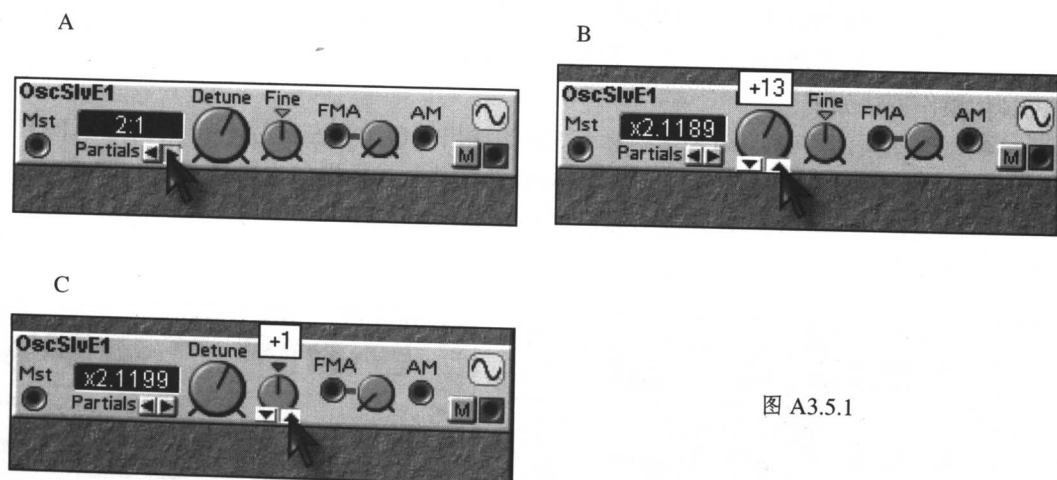


图 A3.5.1

GP06: 恢复参数默认值

例如在操作过程中见到如下要求：

操作：执行 GP06，恢复振荡器 OscSlvE1 频率的默认值。

建议具体操作方法如下：

- 右鼠标点击 Detune 旋钮，激活旋钮右鼠标菜单(图 A3.6.1A)。
- 选择 Default Value(图 A3.6.1B)，单击左鼠标恢复该旋钮默认参数。
- 对 Fine 旋钮重复以上右鼠标操作。

GP07: 设置参数外部控制源

例如在操作过程中见到如下要求：

操作：执行 GP07，将振荡器 OscSlvE1 频率参数 Detune 的外部控制源设置为 Nord Moudlar 面板控制旋钮 18。

建议具体操作方法如下：

- 右鼠标点击 Detune 旋钮，激活旋钮右鼠标菜单(图 A3.6.1A)。
- 选择 Knob/Knob18(图 A3.7.1)，单击左鼠标。

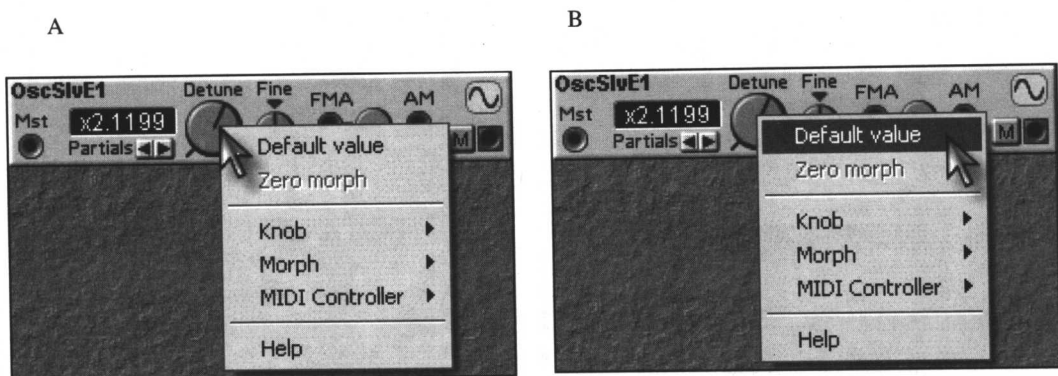


图 A3.6.1

GP08: 取消参数外部控制源

例如在操作过程中见到如下要求:

操作: 执行 GP08, 取消振荡器 *OscSlvE1* 频率参数 *Detune* 的外部控制源。

建议具体操作方法如下:

- 右鼠标点击 *Detune* 旋钮, 激活旋钮右鼠标菜单(图 A3.6.1A)。
- 选择 *Knob/Disable*(图 A3.8.1), 单击左鼠标。

GP11: 系统准备

例如在操作过程中见到如下要求:

操作: 执行 GP11, 做好系统准备。

建议具体操作方法如下:

- 将 Nord Modular 面板的音量旋钮关至最小(左), 开启电源。
- 将 Nord Modular 面板的音量旋钮调整至适当位置(建议不要开到最大)。
- 运行音色编辑软件。
- 运行音序软件获得音序器和 MIDI 键盘对 Nord Modular 的控制^①。
- 运行频谱软件。

GP12: 新建音色

例如在操作过程中见到如下要求:

操作: 执行 GP12, 新建音色, 目标声部: A。

建议具体操作方法如下:

- 同时按计算机键盘上的 *Ctrl* 和 *N* 键, 或者在音色编辑软件下拉式菜单中选择 *File/New*(图 A3.12.1)。
- 在弹出菜单后按回车键, 或左鼠标点击标有“OK”的按钮(图 A3.12.2)。

^① 理想软件配制时才可以进行以下步骤

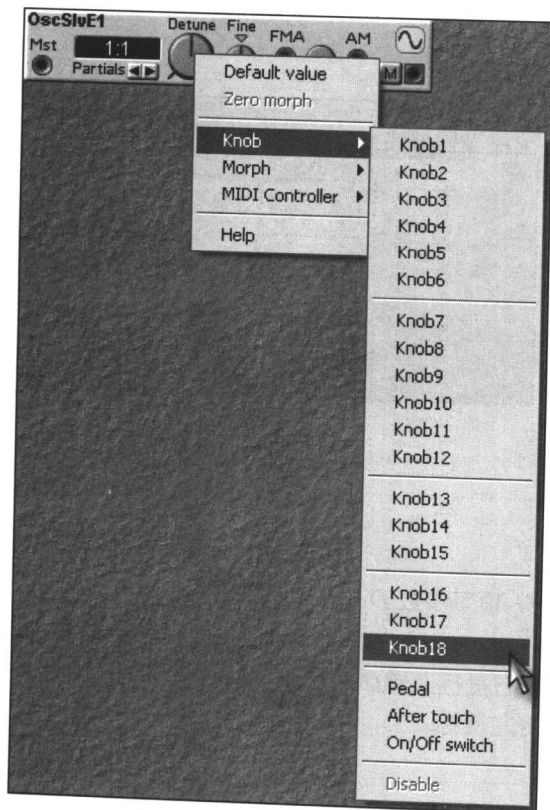


图 A3.7.1

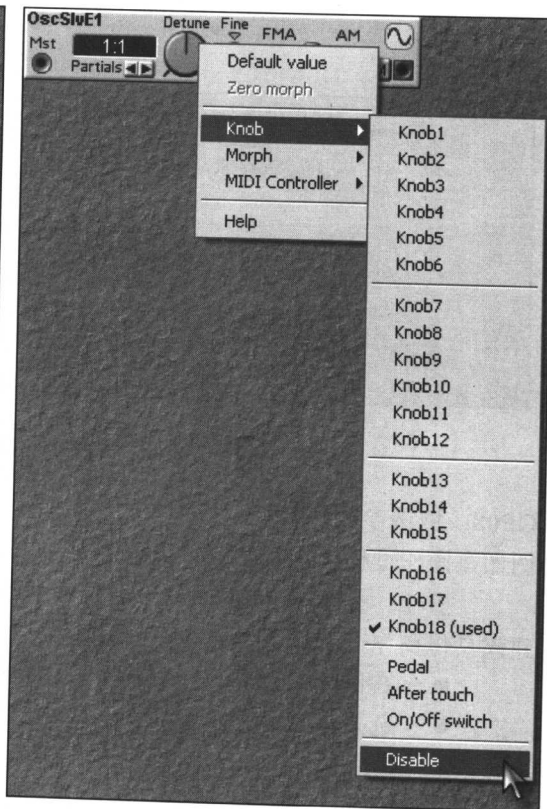


图 A3.8.1

GP13: 读取音色

例如在操作过程中见到如下要求:

操作: 执行 GP13, 文件名: Wind.pch; 目标声部: B。

建议具体操作方法如下:

- 同时按计算机键盘上的 Ctrl 和 O 键, 或者在音色编辑软件下拉式菜单中选择 File/Open(图 A3.13.1)。
- 在弹出的 Windows 标准文件读取窗口中找到文件名为 Wind.pch 的音色文件, 选种该文件, 并执行打开操作。
- 左鼠标点击弹出菜单中文字 Slot B(图 A3.13.2)后, 回车。

GP14: 关闭当前音色

例如在操作过程中见到如下要求:

操作: 执行 GP14, 关闭当前音色。

建议具体操作方法如下:

- 同时按计算机键盘上的 Ctrl 和 W 键, 或者在音色编辑软件下拉式菜单中选择 File/Close(图 A3.14.1)。

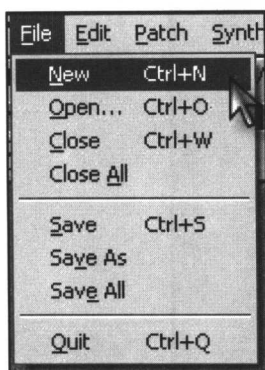


图 A3.12.1

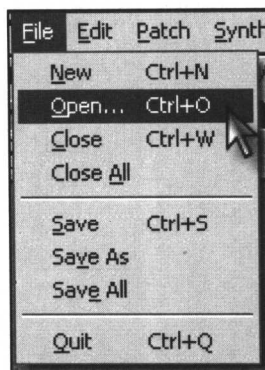


图 A3.13.1

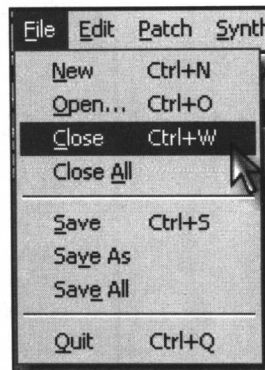


图 A3.14.1

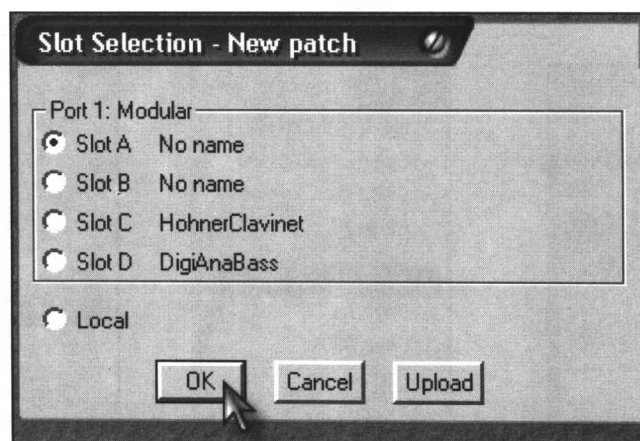


图 A3.12.2

GP15: 关闭所有音色

例如在操作过程中见到如下要求:

操作: 执行 GP14, 关闭所有音色。

建议具体操作方法如下:

- 在音色编辑软件下拉式菜单中选择 File/Close All(图 A3.15.1)。

GP16: 保存当前音色

例如在操作过程中见到如下要求:

操作: 执行 GP16 保存当前编辑音色, 文件名: *.pch。

建议具体操作方法如下:

- 同时按计算机键盘上的 Ctrl 和 S 键, 或者在音色编辑软件下拉式菜单中选择 File/Save(图 A3.16.1)。
- 在弹出的标准 Windows 保存菜单中选择路径、输入文件名, 执行保存。

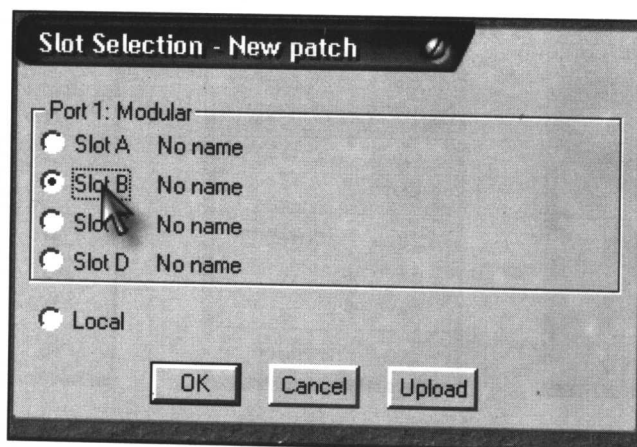


图 A3.13.2

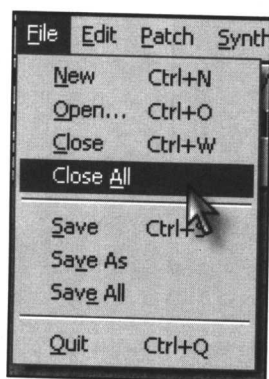


图 A3.15.1

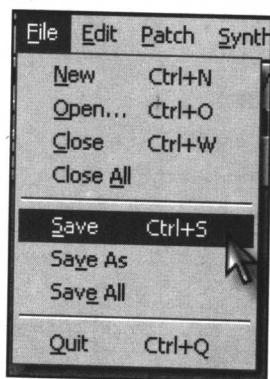


图 A3.16.1

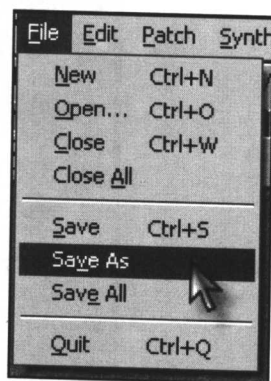


图 A3.17.1

GP17: 另存当前音色

例如在操作过程中见到如下要求:

操作: 执行 GP17 另存当前编辑音色, 文件名: *.pch。

建议具体操作方法如下:

- 在音色编辑软件下拉式菜单中选择 File/Save As 图(A3.17.1)。
- 在弹出的标准 Windows 另存菜单中选择路径、输入文件名, 执行另存。

附录四:

词汇表

A	
A	触发 attack 的缩写
about	关于
Act	活跃 active 的缩写
active	活跃的
add	加
adjustable	可调整的
adjustable gain control	可调整的增益控制
adjustable offset	可调整的位移
AM	振幅调制 amplitude modulation 的缩写
amount	数量/总量
amp	振幅 amplitude 的缩写
amplifier	放大器
amplitude	振幅
amplitude envelope	振幅包络
amplitude modulation	振幅调制
amt	总量 amount 的缩写
analysis	分析
area	区域
Atk	触发 attack 的缩写
attack	触发
attack time	触发时间
audio	音频
auto	自动
auto pan	自动象位
B	
B	旁路 bypass 的缩写
band	频带
band eliminate filter	带除滤波器
band pass filter	带通滤波器
band reject filter	带除滤波器
bandwidth	带宽
bank	库/银行
bass	贝司
beat	拍
bend	弯曲
bipolar	双极性
bipolar signal	双极信号
BP	带通滤波器 band pass filter 的缩写

BR	带除滤波器 band reject filter 的缩写
brass	铜管
break	分割
break point	分割点
Brk	分割 break 的缩写
BrkPnt	分割点 break point 的缩写
browser	浏览器
bus	总线
BW	带宽 bandwidth 的缩写
bypass	旁路
C	
C	计算机 C 语言
carrier	载波振荡器
cascade	叠层
center	中央
center frequency	中央频率
cfq	截至频率 cutoff frequency 的缩写
chain	链
chorus	合唱效果
classic	传统的
clear	清除
click	颗粒刻/点击
clip	修剪
Clk	时钟 clock 的缩写
ClkDiv	时钟分割器 clock divider 的缩写
ClkDivFix	固定时钟分割器 clock divider fix 的缩写
ClkGen	时钟发生器 clock generator 的缩写
clock	时钟
clock divider	时钟分割器
clock divider fix	固定时钟分割器
clock generator	时钟发生器
close	关闭
close all	全部关闭
coarse	粗调
code	数码
color	颜色
color noise	有色噪声
compare	比较
compare level	级别比较
CompareLev	级别比较 compare level 的缩写
compress	压缩
compressor	压缩器
constant	常数常量
contents	目录
control	控制
control mixer	控制信号混合器

control sequencer	控制序列发生器
copy	拷贝
Ctrl	控制 control 的缩写
CtrlSeq	控制序列发生器 control sequencer 的缩写
cut	剪切
cutoff	截至
cutoff frequency	截至频率
D	
D	衰减 decay 的缩写
dB	分贝
decay	衰减
decay time	衰减时间
delay	延时
density	密度
depth	深度
detect	探测
detune	音高失准度
Dcy	衰减 decay 的缩写
diode	二极管
distortion	失真
Div	分割器 divider
download	下载
download to slot	传送到声部
drive	驱动
driver	驱动器/驱动程序
drop	水滴/放下
E	
edge	边缘
electric	电子的
electric bass	电贝司
electric piano	电钢琴
eliminate	消除
Env	包络 envelope 的缩写
envelope	包络
envelope generator	包络发生器
Envfollower	包络跟踪器 envelope follower 的缩写
EP	电钢琴 electric piano 的缩写
Epiano	电钢琴 electric piano 的缩写
EQ	均衡器 equalizer 的缩写
equalizer	均衡器
event	事件
event sequencer	事件序列发生器
EventSeq	事件序列发生器 event sequencer 的缩写
expand	扩展

expander	扩展器
F	
fade	淡出
fader	推子
file	文件
filter	滤波器
filter bank	滤波器库
fine	微调
fix	固定/修理
flange	镶边
floater	漂浮
FM	频率调制 frequency modulation 的缩写
follower	跟踪/跟随
formant	共振峰
formant oscillator	共振峰振荡器
formant sequence	造影模
formant synthesis	共振峰合成
FormantOsc	共振峰振荡器 formant oscillator 的缩写
Fourier Transfer	傅立叶变换
fq	频率 frequency 的缩写
Freq	频率 frequency 的缩写
frequency	频率
frequency modulation	频率调制
fundamental frequency	基频
G	
gain	增益
gain reduction	增益缩减量
gate	门
Gen	发生器 generator 的缩写
generator	发生器
global	全局的/地球
grains	颗粒
granular	粒子
granular synthesis	颗粒合成
graphic	图形
graphic equalizer	图示均衡器
H	
H	保持 hold 的缩写
harmonic	谐和
harmonic content	声谱内容
harmonic partials	泛音
harmonic spectrum	谐和声谱
harmonics	泛音

Hi	高 high 的缩写
high	高
high pass filter	高通滤波器
hold	保持
horizontally	水平的
HP	高通滤波器 high pass filter 的缩写
Hz	赫兹
I	
I/P	输入 input 的缩写
in	入
inharmonic	不谐和
inharmonic spectrum	不谐和声谱
Inv	反转 inverse 的缩写
inverse	反转
K	
kbd	键盘 keyboard 的缩写
KBT	键盘跟踪 keyboard tracking 的缩写
keyboard	键盘
keyboard split	键盘分区
keyboard tracking	键盘跟踪
KeybSplit	键盘分区 keyboard split 的缩写
knob	旋钮
knob floater	旋钮窗口
L	
L	级别 level 的缩写
lead	领导
left	左
lev	级别 level 的缩写
level	级别
level shifter	级别转换器
LFO	低频振荡器 low frequency oscillator 的缩写
LFOSiv	属低频振荡器 low frequency oscillator slave 的缩写
Lim	限幅器 limiter 的缩写
limit	限制
limiter	限幅器
link	链接
Lo	低 low 的缩写
logic	逻辑
logic delay	逻辑延时
logic inverse	逻辑反转
logic processor	逻辑处理器
LogicDly	逻辑延时 logic delay 的缩写
LogicInv	逻辑反转 logic inverse 的缩写

LogicProc	逻辑处理器 logic processor 的缩写
low	低
low frequency oscillator	低频振荡器
low frequency oscillator slave	属低频振荡器
low pass filter	低通滤波器
lower	下面的
LP	低通滤波器 low pass filter 的缩写
M	
M	哑音 mute 的缩写
master	主/主要的
master oscillator	主振荡器
MasterOsc	主振荡器 master oscillator 的缩写
max	最大量 maximum 的缩写
maximum	最大量
Mid	中间 middle 的缩写
millisecond	毫秒
min	最小量 minimum 的缩写
minimum	最小量
mix	混合
mix bus	混合总线
mix in	混合输入
mixer	混合器/混音器/调音台
Mod	调制 modulation 的缩写
Mod Depth	调制深度 modulation depth 的缩写
modeling	建模
Mod-Env	调制包络 modulation envelope 的缩写
modular	载波振荡器/模块
modulation	调制
modulation depth	调制深度
modulation envelope	调制包络
modulation wheel	调制轮
Mon	监听 monitor 的缩写
monitor	监听
mono	单声
ms	毫秒 millisecond 的缩写
Mst	主 master 的缩写
multi segment	多段

Multi-Seg	多段 multi segment 的缩写
mute	哑音
MW	调制轮 modulation wheel 的缩写
N	
navigator	导航器
Neg	负 negative 的缩写
negative edge delay	负边延时
NegEdgeDly	负边延时 negative edge delay 的缩写
new	新建/新的
noise	噪声
note	音符
note detect	音高探测
note sequencer	音符序列发生器
note velocity scale	成比例改变音符力度
notes floater	备注窗口
NoteSeq	音符序列发生器 note sequencer 的缩写
NoteVelScal	成比例改变音符力度 note velocity scale 的缩写
O	
O/P	输出 output 的缩写
oboe	单簧管
Oct	八度 octave 的缩写
octave	八度
offset	位移
open	打开
option	选项
organ	风琴/器官
Osc	振荡器 oscillator 的缩写
oscillator	振荡器
oscillator sine bank	正弦振荡器库
OscSineBank	正弦振荡器库 oscillator sine bank
over	超过
overdrive	过载
P	
PA	功率放大器 power amplifier 的缩写
pan	声象/象位
parameter	参数
parameter equalizer	参数均衡器
partials	分音
paste	粘贴
patch setting	音色设置
pattern	模式
Pch	音高 pitch 的缩写
PCM	脉冲数码调制 pulse code modulation 的缩写

per	每
Perc	打击乐 percussion 的缩写
percussion	打击乐
phase	相位
phase vocoder	相位声码器
physical	物理的
physical modeling	物理模型
piano	钢琴
pink	粉色
pink noise	粉红噪
pitch	音高
pitch bend	弯音
pitch bend sensitivity	弯音敏感度
pitch envelope	音高包络
Pnt	点 point 的缩写
poly	复音
poly area in	复音区域输入
Porta	滑音 portamento 的缩写
portamento	滑音
Pos	正 positive 的缩写
PosEdgeDly	正边延时 positive edge delay 的缩写
positive edge delay	正边延时
power	功率/能量
power amplifier	功率放大器
preset	预置
Proc	处理器 processor 的缩写
Puls	脉冲 pulse 的缩写
pulse	脉冲
pulse code modulation	脉冲数码调制
pulse per beat	每拍脉冲
pulse/b	每拍脉冲 pulse per beat 的缩写
punch	打击
PW	脉冲宽度 pulse width 的缩写
Pwidth	脉冲宽度 pulse width 的缩写
Q	
Quant	量化 quantize 的缩写
quit	退出
R	
R	释放 release 的缩写/右 right 的缩写
random	随机
range	范围
rate	比率/速率
ratio	颤音
redo	重复

reduction	缩减量
reject	拒绝/丢弃
Rel	释放 release 的缩写
release	释放
release time	释放时间
Res	共振 resonance 的缩写
reset	重置
resonance	共振
reverb	混响
right	右
ring modulation	环型调制
RingMod	环型调制 ring modulation 的缩写
RM	环型调制 ring modulation 的缩写
Rnd	随机 random 的缩写
RndPulsGenerator	随机脉冲发生器 random pulse generator 的缩写
Rst	重置 reset 的缩写
rubber	橡皮
rubber bass	橡皮贝司
S	
S	延留 sustain 的缩写
sample	样本
sampling	采样
save	保存
save as	另存
save in synth	保存到合成器
sawtooth	锯齿
sawtooth wave	锯齿波
scale	成比例改变
second	秒钟/第二
Seg	段 segment 的缩写
segment	段
send	发送
send controller snapshot	发送控制器快照
sensitivity	敏感度
seq	序列发生器/音序器 sequencer 的缩写
sequencer	序列发生器/音序器
set	设置/套
setting	设置
shape	形状
shaper	成型器
shaping	成型
ship	船/传送
side chain	边链
signal	信号
sine	正弦
sine wave	正弦波

slave	附属
slop	斜率
slot	声部/槽
Slv	附属 slave 的缩写
smooth	平滑
snapshot	快照
snare	军鼓
sound	声音
sound synthesis	声音合成
spectral	声谱的
spectral oscillator	声谱振荡器
spectral shape	声谱形状
SpectralOsc	声谱振荡器 spectral oscillator 的缩写
spectrum	声谱/频谱
split	分离/分区
square	正方长方
square wave	方波
St	立体声 stereo 的缩写
star	星星
star ship	宇宙飞船
StChorus	立体声合唱效果 stereo chorus 的缩写
stereo	立体声
string	弦乐
sub	超低/附属
subtractive	减去的
subtractive synthesis	减法合成
sustain	延留
sustain time	延留时间
sweep	频摆
swp	频摆 sweep 的缩写
Sync	同步 synchronization 的缩写
synchronizat ion	同步
synth	合成
synth lead	合成领奏
synth setting	合成设置
synthesis	合成
T	
T	时间 time 的缩写
Thresh	阈限 threshold 的缩写
threshold	阈限
tile	叠置
tile horizontally	水平叠置
tile vertically	垂直叠置
timbre	音色
time	时间
tone color	音色
tracking	跟踪

tremolo	震音
triangle	三角
triangle wave	三角波
Trig	触发 trigger 的缩写
tune	校音/校准
U	
undo	撤消
unipolar	单极性
unipolar signal	单极信号
upload	上载
upload active slot	将激活声部载入 编辑器
upper	上面的
using help	使用帮助
V	
Vel	力度 velocity 的缩写
velocity	力度/速率
vertically	垂直的
vibrato	颤音
vibrato depth	颤音深度
vibrato ratio	颤音速率
vocoder	声码器
voice	发音数/人声
vowel	元音
vowel navigator	元音导航器
W	
wave wrapper	波形折叠器
waveform	波形
waveshaper	波形塑型器
waveshaping	波形塑型
wf	波形 waveform 的缩写
wheel	轮子
white	白色
white noise	白噪声
width	宽度
wrap	折叠